nature
الطبعة العربية
الدورية العالمية للعلوم

نموذج روبوت لحفرية تنتمي إلى فصيلة «السلويات»، يطرح تصورًا عن طرق مشي أولى رباعيات الأطراف.
صفحة 52

علم الحفريات الروبوتي

فيزياء المواد المكثفة
الزاوية السحرية
الجرافين يضيف تغييرًا إلى قدرة التوصيل الفائقة
صفحة 29

الطب النفسي
جذور المرض العقلي
دور التَّطوُّر في بعض الأمراض العقلية
صفحة 42

أبحاث طبية
انتقال الملاريا
حل محتمَل لمقاومة البعوض للمبيدات الحشرية
صفحة 57

ARABICEDITION.NATURE.COM
مارس 2019 / السنة السابعة / العدد 58
ISSN 977-2314-55003

nature

مارس 2019 / السنــة السابعة / العـدد 58

رسالة رئيس التحرير

إطلالة على آفاق العلوم

أهلًا بكم في عدد ربع سنوي جديد من دورية "*Nature* الطبعة العربية"، حيث نعرض لكم مختارات من أهم ما نُشر في دورية *Nature* الدولية في أعدادها المنشورة في الفترة من يناير إلى مارس 2019، حيث يضم هذا العدد بين جنباته إضاءات على آفاق تقدم العلوم.

يأتي هذا العدد مع مطلع العام الخمسين بعد المائة من أول إصدار للطبعة الدولية من دورية *Nature*، حيث نتعرف في قسم «الافتتاحيات» على تطور هذه المطبوعة المميزة، التي تتعهد باستمرار التزامها بالانحياز إلى القارئ؛ لمساعدته على فهم عالم العلوم، إضافة إلى دعم الإنتاجية، والتنوع، والعدالة الاجتماعية في مجال البحث العلمي.

وفيما يتعلق بباقي أقسام هذا العدد، نتعرف في قسم «أخبار في دائرة الضوء»، وتحت عنوان "اليابان تبدأ تجربة رياديّة في البحث عن موجات الجاذبية"، على تفاصيل أحدث كواشف موجات الجاذبية، الذي يجري تشييده في اليابان، لينضم إلى مرصد قياس تداخُل موجات الجاذبية بالليزر «ليجو» LIGO في الولايات المتحدة، وكاشف «فيرجو» Virgo في إيطاليا؛ لمساعدة علماء الفيزياء الفلكية على تحديد مواقع هذه الإشارات الكونية الواهنة في السماء بدقة أكبر بكثير. كما نسبر "مساع للحيلولة دون وقوع الحمض النووي الخطير في أيدي الإرهابيين"، وذلك باستغلال تقنية تعلُّم الآلة، لتكشف ما إذا كان أحد تسلسلات الحمض النووي يرمِّز جزءًا من مسبب مرضي خطير، أم لا، وذلك لتفادي وقوع هذه التقنية في أيدي "الإرهابيين البيولوجيين".

وتحت عنوان "أبحاث اللحوم المستنبَتة معمليًّا تظفر بدفعة تمويل استثنائية"، نستطلع آخِر التطورات في هذا المجال، الذي يَعِد بتوفير كميات لا نهائية من اللحوم المستنبَتة معمليًّا، بدلًا من الاعتماد على الماشية الحية. كما نسافر مع المركبة الصينية "تشانجا-4" إلى الجانب البعيد من القمر، وتحت عنوان "الصين تستكشف الجانب المظلم من القمر" نتعرف على ما ننتظره بعد هبوط مسبار صيني في هذه المنطقة من القمر - للمرة الأولى - بعد مرور ستين عامًا على إلقاء الإنسان أول نظرة عليها.

وفي قسـم «التحقيقـات»، وتحـت عنـوان "أشـباح في الكهـف"، ندخـل معًـا إلى «كهـف دينيسـوفا»، أو كمـا أُطلـق عليـه قديمًـا «كهـف الراهـب»، في محاولـة لمعرفـة المزيـد من التفاصيـل عـن مجموعـة غامضـة مـن البـشر القدمـاء، عُرِفـوا باسـم «الدينيسـوفان»، قد تسـاعد علـى إعادة تشـكيل فهْمنا للتطـور البـشري. وفي تحقيق آخر، وتحـت عنوان "قدرة توصيـل فائقـة بزاوية سـحرية"، نحـاول التعرف على محـاولات العلماء للوصـول إلى هذه "الزاويـة السـحرية"، الـتي تحـوِّل لوحـين مـن مـادة الجرافـين الرقيقـة إلى "موصّـل فائق" يسـمح بسريـان الكهرباء بغـير مقاومة.

وفي قسم «التعليقات»، وتحت عنوان "أربع خطوات نحو تحقيق الأمن الغذائي للمدن المتضخمة"، يعرض أربعة أخصائيين في علوم البيئة، والزراعة، والتربة اقتراحاتهم لتوفير الغذاء الكافي في ظل التوسع الحضري، الذي لا مفر منه.

وفي قسم «كتب وفنون»، وتحت عنوان "البحث عن أشباه البلورات"، ندخل في مغامرة علمية من نوع خاص مع عالِم الفيزياء النظرية بول ستاينهارد، حيث تستعرض شارون جلوتزر كتابه المعنون بـ«النوع الآخر من المستحيل»، الذي يصف فيه رحلته التي كان يبحث فيها عن "شبه بلورة طبيعية". وفي القسم نفسه، وتحت عنوان "الإهدار المستمر للمياه"، تطرح مارجريت كاتلي-كارلسون تأملاتها لكتاب «مفارقات المياه»، الذي يستعرض تاريخًا عن إهدار هذا المصدر الثمين، وأمثلة إدارته التي تستحق التأمل، وكذلك التهديدات التي تنتظره.

ولأن البحث العلمي لا يختلف كثيرًا عن غيره من المِهن، قد تكون دراسة ما بعد الدكتوراة غير كافية لتوفير الخبرة والتأهيل اللازمين لتحقيق مسار سلس يقود إلى المسيرة المهنية العلمية التي ينشدها العديد من شباب الباحثين. ولذلك.. ففي قسم «مهن علمية» نستعرض - تحت عنوان "مخاطر وظيفة الباحث في مرحلة ما بعد الدكتوراة" - دراستين تسلّطان الضوء على عملية التوظيف تلك، المليئة بالمجازفات لباحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة في الولايات المتحدة، وأوروبا.

وفي قسم «أنباء، وآراء»، تلقي كيت شابمان نظرة على تاريخ اكتشاف أول عنصر كيميائي اصطناعي (التكنيشيوم)، وملء فراغات الجدول الدوري الذي قدّمه مندليف، وذلك تحت عنوان "أول عنصر اصطناعي". كما يستعرض جاري چيه. نابل، وجون دبليو. شيفر، تحت عنوان "لقاح شامل لمكافحة سلالات الإنفلونزا المختلفة"، بحثًا عن تصميم أجسام مضادة، تمنح الفئران حماية ضد سلالات مختلفة من فيروس الإنفلونزا، وتوفر – بشكل خاص - حماية ضد معظم السلالات الفيروسية التي تنتمي إلى النوعين الرئيسين اللذين يصيبان البشر.

رئيس التحرير
علياء حامد

المحتويات

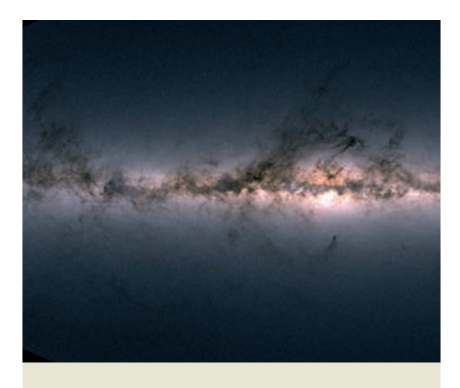
مارس 2019 / السنة السابعة / العدد 58

هــذا الـشـهــر

مهن علمية

لأحـدث قـوائـم الوظـائـف والنـصـائح المهنيـة، تابع: nature.com/naturecareers

أخبـــار فى دائـرة الضـوء



علم الفلك

علامات مهمة في مجرّة درب التبانة

البيانات الواردة من مركبة «جايا» الفضائية تكشف كيف تطورت مجرّتنا صفحة 33

تعليقات



الأمن الغذائي

أربع خطوات نحو تحقيق الأمن الغذائي للمدن المتضخمة

باوجينج جو، وزملاؤه يحثون على تحسين أساليب الزراعة، وتخفيض استهلاك اللحوم، والحدّ من هدر الغذاء صفحة 37

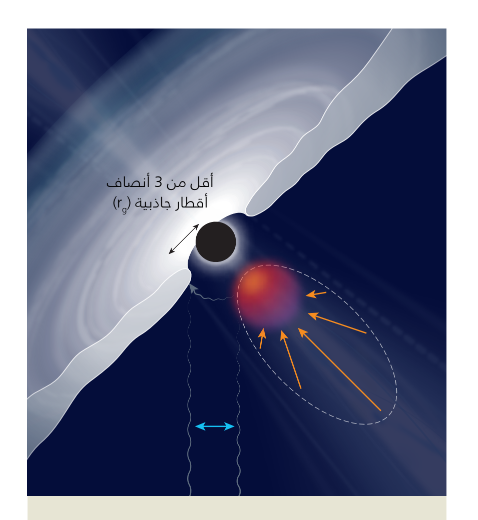
المحتويات

مارس 2019 / السنة السابعة / العدد 58

أبـحـــاث

أنباء وآراء







عن الغلاف

علم الحفريات الروبوتي

يحتوي السجل الأحفوري على عدد محدود من الأدلة ترصد الطريقة التي تطورت بها طرق مشي الفقاريات رباعية الأرجل، عندما خطت أولى خطواتها على اليابسة. استخدم جون نياكاتورا وزملاؤه حفرية كاملة لأحد «السلويات» الجذعية التي يُطلق عليها (*Orobates pabtsi*) مع مسارات الحركة الأحفورية، لإعادة هندسة طرق مشي محتمَلة للحفرية. صمم الباحثون نموذجًا ديناميكيًّا وحركيًّا، للتعرّف على طرق المشي الأقرب إلى الدقة، ومن ثم بناء نموذج روبوت ناجح للـ(*Orobates pabtsi*)، للتحقق من صحة نتائجهم. **صفحة 52**

ملخصات الأبحاث

COVER IMAGE: PHOTOMONTAGE OF OROBOT AND RECONSTRUCTED OROBATES PABSTI BY JONAS LAUSTRÖER, AMIR ANDIKFAR AND JOHN A. NYAKATURA; PHOTO OF OROBOT FROM TOMISLAV HORVAT AND KAMILO MELO.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

مطابع مدينة الملك عبدالعزيز للعلوم والتقنية
الرقم: 340517

هــذا الشهـــر

افتتاحيات

أبحاث طبية توجه جديد لعلاج سرطان الدماغ يحفز الدفاعات المناعية **ص. 8**

رؤية كونية أعطوا المتدربين العلميين المساحة للازدهار **ص. 11**

خصوبة تأثير النمو السكاني على مستوى التعليم في أفريقيا **ص. 14**



دورية *Nature* في عامها الــ150

على مدار 150 عامًا، ومنذ نشر العدد الأول، تطورت دورية *Nature* جنبًا إلى جنب مع مجتمع الأبحاث الذي تخدمه. ونأمل أن نستمر في مسيرة التقدم في الأعوام المقبلة.

في عام 1869، سَنَّت ولاية وايومنج الأمريكية أول قانون في العالم كَفَلَ حق المرأة في التصويت، ونَشَرَ ليو تولستوي الأجزاء الأخيرة من روايته الملحمية "الحرب والسلم" *War and Peace*، وافتُتحت قناة السويس في مصر، ووُلد المهاتما غاندي، وتنافست جامعتا أوكسفورد وهارفارد في أول سباق دولي للزوارق، كان قد أقيم في نهر التايمز في لندن.

كان العالَم مكانًا مختلفًا آنذاك، ولكن بعد مرور 150 عامًا، ظلت أشياء على شاكلتها... فما زال الكثيرون يستمتعون برواية "الحرب والسلم"، وقد ثبُتَ أن صناع القرار السياسي في وايومنج هم أول المؤيدين لقضية شاملة وذات تأثير كبير. وأحد الثوابت الأخرى.. تلك الدورية التي تقرأها الآن، حيث شهد عام 1869 أيضًا نشر العدد الأول من دورية *Nature*، وبذلك.. يصادف عامنا الحالي الذكرى الخمسين بعد المائة لهذا الحدث. وهذه الذكرى مدعاة للاحتفال، والتأمل، والامتنان لمجتمع الأبحاث العالمي، وإدراك احتياجاته المتنامية، التي ساعدت على تشكيل هويتنا، وتوجيهنا على مر عقود من الزمن، لنصل إلى ما أصبحنا عليه اليوم.

"ظَلَّ اسم دوريّتنا دون تغيير، بينما تَغَيَّرَ الكثير مما هو كائن بين دَفَّتَيْها".

لم تكن دورية *Nature* أولى الدوريات العلمية، ولا أقْدمها، ولكن الذكرى التي سوف نحتفل بها في شهر نوفمبر القادم - على الأرجح – سوف تكون لمرور 150 عامًا على بداية إصدارنا الأسبوعي.

وبإمعان النظر في تاريخ دورية *Nature*، يمكنك تأمُّل كيف تطورت العلوم، والإطار السياسي الذي تعمل بموجبه، والتواصل فيما بينها على مدار السنوات المائة والخمسين الماضية. وهكذا، على مدار العام، سوف نفحص تقدُّم المسعى العلمي تدريجيًّا في العديد من التخصصات، ونكتشف كيفية تغيُّر دور العلوم في مجتمع أكبر.

وسوف نستكشف إرث بعض أكثر الأبحاث التي نشرناها تأثيرًا على مر السنين، ونبحث في أرشيفنا عمّا حاز أكبر قدر من الاهتمام من محتوانا التاريخي، كي نحاول عرضه في سياق أكبر. كما ننوي مشاركة الذكرى السنوية مع القراء.. فعلى مدار العام، سوف ندعوك للإسهام بأفكارك فيما يخص مستقبل الأبحاث، ونشرها.

إنّ الذكرى السنوية ما هي إلا فرصة للتأمل.. فبالنظر إلى العلوم في عام 1869، نكتشف أن ذلك العام هو الذي استخرج فيه فريدريك ميشر ما أطلق عليه الـ«نيوكليين» nuclein (المعروف اليوم باسم الأحماض النووية)، من أنوية خلايا الدم البيضاء. وفي العام نفسه، وصف بوول لانجرهانز جُزَيْرات البنكرياس لأول مرة، وقدَّم ديمتري مِنديلييف - لأول مرة - الجدول الدوري، ونشر ألفريد راسل والاس كتابًا بعنوان "أرخبيل الملايو" *The Malay Archipelago*، الذي وصف فيه تصنيف الحيوانات والنباتات فيما يُعرف الآن باسم «خط والاس» Wallace Line.

بقي اسم دوريّتنا دون تغيير طيلة المئة وخمسين سنة الماضية، بينما تَغَيَّرَ الكثير مما هو كائن بين دَفَّتَيْها مع مرور الزمن، وتطوُّر العلوم، وتكنولوجيا النشر.

في عام 1869، أسهمت الدوريات العلمية - بشكل رئيس - في تسجيل المحاضرات المعروضة في اجتماعات الجمعيات العلمية، أو في إعادة نشر الأبحاث القيِّمة، المنشورة في مكان آخر بلغة أخرى في الغالب. ومع نهاية القرن التاسع عشر، كان للمجتمعات والجمعيات والمؤسسات العلمية دور أكثر أهمية من الدوريات العلمية في تحديد ملامح التقدم العلمي. وفي الواقع، لم تصبح الدوريات العلمية المنصة الرئيسة لنشر نتائج البحوث المهمة، حتى نهاية فترة الحرب العالمية الثانية.

عندما صدرت دورية *Nature*، كان المقصود من إصدارها أن تكون أكثر شبهًا بمجلتي «ساينتيفك أميريكان» *Scientific American*، أو «نيو ساينتيست» *New Scientist* المعاصرتين، حيث أراد أول محرريها، نورمان لوكير، مِن "رجال العلم" أن يكتبوا عن أبحاثهم لعامة الشعب، (رغم أنه كان واضحًا أن هناك عالِمات في ذلك الوقت، لكنْ لم يُعترَف بهن، كطبيعة الحال في العديد من مجالات الحياة وقتئذ).

وعلى الرغم من نوايا لوكير، أُعيد توجيه دورية *Nature* لخدمة أوساط الأبحاث المهنية في غضون بضع سنوات فقط منذ صدورها، عندما أدرك أول من امتهنوا مجال البحث العلمي أنّ بإمكانهم استخدام الدورية، وإصدارها الأسبوعي السريع في النشر لخدمة مصالح أبحاثهم؛ لتطوير الخطاب العلمي في المجتمع، ولنشر نتائج أبحاثهم الجديدة في نهاية المطاف.

في وقت انطلاق دورية *Nature*، كانت الخطابات الشخصية هي النمط السائد للتواصل بين العلماء، وكان نشر المؤلفات العلمية وسيلة رسمية لنشر الأبحاث. وأحد الأمثلة البارزة التي تتبادر إلى أذهاننا من هذه الحقبة هو كتاب "أصل الأنواع" *On the Origin of Species* لتشارلز داروين، الذي نُشر في عام 1859.

تشتهر دورية *Nature* بأبحاثها الحديثة، بجانب الصحافة الإخبارية، والتعليقات التي تنشرها. واليوم، يتشعب ما ذكرنا في عدة أشكال مختلفة، لكنْ يبقى هدف التغطية واحدًا؛ متمثلًا في مساعدة القراء على فهم عالَم العلوم؛ لمساعدتهم في عملهم، وفي حياتهم المهنية؛ ومساعدتهم على تقييم مكانة العِلم في سياق المجتمع. وعلى هذا النحو، احتوت دورية *Nature* عادةً على مقالات سياسية ومجتمعية على نطاق أوسع في الافتتاحيات، وفي أقسام أخرى، وسوف نستمر على هذا المنوال.

ركزت دورية *Nature* في بداياتها - بشكل رئيس - على الأبحاث العلمية الصادرة من بريطانيا، ولكن اليوم، أصبح مجال البحث العلمي مسعى عالميًّا، وكذلك صار اهتمامنا أيضًا، سواء من خلال الأبحاث الحديثة التي ننشرها، أم من خلال نشرتنا الإخبارية. إنّ الطبيعة العالمية للعِلْم في الوقت الحالي تعني بالضرورة أنه أصبح أكثر تعاونًا. ومثلما انتقلنا من نشر الأبحاث الصادرة من مؤلف واحد، أو من بضعة مؤلفين، إلى نشر أبحاث أَلَّفَتْها مجموعات كبيرة، فقد سعينا للثناء على إسهامات المؤلفين الأفراد.

يُعتبر النظر إلى المستقبل جانبًا مهمًّا من أي احتفال بذكرى سنوية. وسوف نتطلع إلى المستقبل على مدار العام، من أجل مصلحتنا الخاصة بشكل جزئي، ولنبحث عن أفضل طريقة لمواصلة تطوير المجتمع البحثي واحتياجاته، وسوف نسعى جاهدين لدعم الإنتاجية، والتنوع، والعدالة الاجتماعية في مجال البحث العلمي. ونحن نأمل ونترقب أن يكون عام 2019 عامًا آخَر مهمًّا في مجال العلوم، ونتطلع إلى مشاركة أحداثه معك. ■

خطوات على طريق علاج سرطان المخ

سلسلة من الخطوات من شأنها تطوير علاجات لتلك الأورام الخطيرة.

"لقد أدركت مدى خطورة الوضع من الجدية التي كانت يتصرف بها الفريق الطبي بالغرفة". هكذا وصف السيناتور الأمريكي جون ماكين لحظة تشخيص إصابته بالسرطان في كتابه الصادر في عام 2018 «الموجة التي لا تهدأ» *The Restless Wave*. وتابع ماكين قائلًا: "عندما أشار شخصٌ ما، لا أذكر من هو، إلى أنه نوع السرطان نفسه الذي كان تيد مصابًا به، اتضحت الرؤية لديّ".

تيد هو إدوارد كينيدي، السيناتور الزميل لماكين، وكان نوع السرطان ورمًا بالمخ. توفي كينيدي سنة 2009؛ أما ماكين، فقضى نحبه في أغسطس الماضي، بعد عام واحد فحسب من التشخيص الذي كان ينذر بمصيره. وهذا ليس أمرًا غريبًا؛ إذ إن الأورام الخبيثة بالمخ تُعد من أكثر السرطانات المخيفة، ويرجع هذا – بشكل جزئي – إلى أنها تتطور سريعًا، وغالبًا ما تكون مميتة، فهي تقتل تقريبًا نصف عدد المرضى في غضون عام من التشخيص.

بعكس أغلب أنواع السرطان الأخرى، لم تتحسن معدلات النجاة من أورام المخ كثيرًا خلال السنوات الأخيرة، حتى مع إدخال علاجات جديدة، مثل العلاجات الموجَّهة، والعلاجات المناعية. ولهذا، يُعتبر التوصُّل إلى علاجات أفضل لأورام المخ حاجة طبية مُلحة، خاصة فيما يتعلق ببعض أشكال هذا المرض الفتاكة، التي تصيب الأطفال.

"تؤكد النتائج على أهمية التحديات الرئيسة، التشريحية والبيولوجية، المرتبطة بعلاج أورام المخ".

في عدد دورية *Nature*، الصادر في 10 يناير 2019، تشير ورقتان بحثيتان إلى حدوث تقدُّم على هذا الصعيد. وتتمثل النتيجة الإيجابية في أن هاتين الورقتين البحثيتين تقدمان تفاصيل بشأن أول اختبار يُطبَّق على البشر لاستراتيجية تتضمن "لقاحات من المستضدات المستحدثة"؛ إذ يُحقن المرضى بلقاح يعتمد على التركيب الوراثي لنوع الورم المحدد الذي يعاني منه كل مريض. ويهدف هذا اللقاح إلى تحفيز الدفاعات المناعية لدى المرضى، وتعزيزها. كان هذا الأسلوب قد أظهر من قبل نتائج واعدة حيال الأورام الميلانينية، وهو يُعد أحدث نمط للعلاج المناعي يتم اختباره على سرطانات المخ. وينتهج هذا الأسلوب إجراء التجارب بطرق أخرى، منها توجيه الفيروسات ضد السرطانات.

وكما هو موضح في مقال منشور في قسم «أنباء وآراء» في العدد نفسه الذي نُشرت فيه الورقتان البحثيتان، نجحت هذه اللقاحات في استثارة بعض الاستجابات المناعية لدى الأشخاص المصابين بأورام في المخ، إلا أن تأثيرها كان ضعيفًا، وما زالت الوفاة هي مصير الكثيرين من المرضى.

تبرز النتائج التحديات الرئيسة – التشريحية منها والبيولوجية - المرتبطة بعلاج أورام المخ. يتمثل أحد هذه التحديات - بشكل خاص - في أن التكوين الدقيق والمعقد للمخ يحميه الحاجز الدموي الدماغي، ومن الصعب التوصُّل إلى عقاقير للسرطان يمكنها عبور هذا الحاجز، وإحداث التأثير المطلوب، وفي الوقت نفسه الحد من التأثيرات السُّمية لهذه العقاقير على الخلايا العصبية.

وبالإضافة إلى هذا، تزيد المواقع الحساسة التي تُوجَد فيها الأورام من صعوبة فحص الأورام ورصْدها، دون اللجوء إلى عمليات جراحية معقدة. وغالبًا ما تكون الأورام مؤلَّفة من العديد من الخلايا المختلفة جينيًّا، الأمر الذي يساعد هذه الأورام على التكيف مع العلاجات الموجَّهة، وتفادي تأثيرها. وتُعتبر هذه الأورام كذلك أورامًا "باردة" مناعيًّا؛ بمعنى أن الجهاز المناعي للجسم لا يمكنه التعرف عليها، أو اتخاذ رد فعل ضدها، الأمر الذي يحدّ من فعالية العلاجات المناعية.

تُظهِر دراستا اللقاحات الجديدتان أن العلاجات المساعِدة - مثل المركّب الستيرويدي ديكساميثازون - قد تعوق فعالية الاستجابات المناعية. وتشير هاتان الدراستان أيضًا إلى إمكانية رفع مستوى الاستجابات الموجهة ضد كلٍّ من البروتينات المتطفرة، وغير المتطفرة، المرتبطة بالأورام، وتوضحان كيف يمكن لإنهاك الخلايا المناعية أن يحدّ من هذه الاستجابات.

وبرغم حجم التحديات المرتبطة بهذا الأمر، لا يُفترض أن يكون التقدم البطيء في جهود التوصُّل لعلاج لسرطان المخ سببًا في تثبيط عزيمتنا. فبفضل الكرم الذي يُبديه المتطوعون المشاركون في التجارب، وإصرار الباحثين، والأطباء الإكلينيكيين، الذين يواصلون تعاونهم مع مبادرات العلاج ودعمهم لها، لا تزال الفرصة سانحة للتوصُّل إلى رؤى مهمة. فعلى سبيل المثال، جدير بالأوراق البحثية الجديدة أن تسلط الضوء على طريقة تطور الاستجابات المناعية لدى الأشخاص المصابين بأورام في المخ، وعلى ما يمكن فعله لتعزيز تلك الاستجابات، فهذه إحدى طرق تسريع وتيرة التقدم. ■

أَعطُوا الأولوية لبحوث الأمراض في أفريقيا

تُعتبر دراسات الصحة العامة المدارة محليًّا نافعة على الصعيدين؛ القارّي والعالمي. وينبغي على العلماء، والسياسيين، وجهات التمويل دعمها.

في عام 2005، قدَّمت دول العالم تعهدًا غير مسبوق لمكافحة الأمراض. وإدراكًا من دول العالم البالغ عددها 196 دولة لمدى الترابط الوثيق فيما بينها، تعاهدت في ذلك الوقت أمام جمعية الصحة العالمية، المنعقدة في جنيف بسويسرا، على العمل معًا على تعزيز قدرة كل بلد على الكشف عن حالات انتشار الأمراض المعدية التي يمكن أن تتفشى سريعًا في جميع أنحاء العالم، والإبلاغ عنها، ومواجهتها.

وبكل أسف، تعثرت المبادرة لمدة عقد من الزمن، بسبب التمويل الهزيل، والإرادة السياسية، وما لبثت أن اندلعت أزمة فيروس الإيبولا خلال الفترة من 2014-2016، وأوضحت بصورة جلية مدى الحاجة الملحة إلى هذه المبادرة؛ إذ كانت سيراليون، وغينيا، وليبيريا تفتقر إلى وجود وكالات قادرة على إدارة الأزمة بمفردها. وسرعان ما انفلت زمام الأمور؛ وانتشر الوباء، مسببًا خسائر بشرية ومالية هائلة. شجعت تداعيات الأزمة بعض الزعماء الأفريقيين على إعطاء الأولوية للصحة العامة. وبدأت جهات التمويل الدولية في دعم تأسيس نظم لترصد الأمراض، ومواجهتها في دول أفريقيا. ومنذ عام 2016، رصد البنك الدولي مبلغًا قدره 381 مليون دولار أمريكي، لدعم القضية في 11 بلدًا من بلدان غرب أفريقيا.

إلا أن بناء مؤسسات للصحة العامة مستدامة ومسؤولة يتطلب ما هو أكثر من المال، فهو يتطلب قيادةً قويةً، وتأييدًا من السياسيين وعامة الشعب. وقد حققت بلدان بعينها، مثل نيجيريا، وإثيوبيا، وأوغندا تقدمًا باهرًا خلال السنوات القليلة الماضية، من خلال دعم وكالات الصحة العامة لديها، وزيادة عمليات الترصد في المناطق النائية. تلعب نيجيريا دورًا محوريًّا في هذه الأزمة، نظرًا لضخامة هذا البلد؛ فما يقرب من واحد من كل خمسة أشخاص في بلدان أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى نيجيري الجنسية، والبلد يعج بالأمراض المتفشية، التي يمكن أن تحطم اقتصاد أفريقيا، وتنتشر في جميع أنحاء العالم. وفي عدد نُشر مؤخرًا لدورية *Nature*، تسلط نبذة عن المركز النيجيري لمكافحة الأمراض (NCDC) الواقع في أبوجا، ومديره العام تشيكوي إهكويزو، الضوء على الطاقة والاستراتيجية الجديدتين، اللتين تطبقهما البلاد لمكافحة الأمراض المعدية.

يتصف النهج الذي يتبعه المركز النيجيري في البحوث أيضًا بالحزم، والابتكار. وتساعد الوكالة في صياغة أولويات العلماء الدوليين الذين يرغبون في إجراء البحوث في نيجيريا. ويمكن أن يعني هذا استبعاد الدراسات الأكاديمية البراقة، لصالح تلبية الاحتياجات الأساسية والملحة؛ فلا خلاف على أهمية تحديد تسلسل جينومات مسبب المرض، والاختبارات التشخيصية التجريبية، ولكنْ ليس عندما يكون العاملون في مجال الرعاية الصحية مُثقلين للغاية بالتصدي لحالة من حالات الأوبئة؛ بغية إنقاذ الأرواح، ناهيك عن تجهيز عينات الدم والبراز بحرص، وشحنها إلى المختبرات.

وعندما تمضي الدراسات قُدمًا بالفعل، كثيرًا ما يطلب المركز الإقرار بالفضل عن

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

طريق وضع الأسماء على المنشورات العلمية؛ فإذا قام أحد الفنيين النيجيريين بجمع عينات الدم، وتحليلها في مستشفى ما، لدراسة ما، فإن الوكالة تريد الاعتراف بمجهود هذا الشخص، وتقديره. كما طلب إهكيوزو من جهات التعاون الدولية أن تسهم بحوالي 10% من مِنَحها في التكاليف غير المباشرة، مثل زيادة أجور الباحثين المحليين منخفضي الدخل، الذين يعملون في أحد المشروعات لساعات إضافية، أو الإسهام بوقود للمولدات في أحد مواقع الدراسات الإكلينيكية. وأخيرًا، أن يتعاون موظفو المركز النيجيري لمكافحة الأمراض مع الباحثين الزائرين، حتى يتمكنوا من تعلُّم الأساليب والتقنيات. وفي المقابل، يتشاور العلماء الأجانب مع نظرائهم المحليين الذين يعرفون المرض في سياقه الطبيعي.

ويجب على الجهات الممولة للبحوث الطبية الحيوية، مثل مؤسسة «بيل وميليندا جيتس» Bill & Melinda Gates، وصندوق «وِيلْكَم تراست» Wellcome Trust البريطاني، أن تساعد متلقِّي المنحة على تلبية هذه المطالب بمعدل أكبر. وإذا لم تسهم جهات التمويل الدولية، والعلماء الدوليون في تقدُّم نظم البحوث في الأقاليم المتضررة من الأمراض التي يدرسونها، فإن تبرير مشروعاتهم يصبح واهيًا.

عندما تندلع الأزمات، يكون العلماء المحليون في أفضل وضع لبدء التجارب الإكلينيكية بسرعة. وسوف يطرح العلماء القاطنون بالقرب من المواقع المعرضة للأمراض التي لا تزال محيرة، مثل حُمّى لاسا، أذكى الأسئلة حول كيفية ظهورها، وانتشارها. إن دعم البحوث التي تقودها أفريقيا يعود بالنفع على العلم، وعلى أفريقيا، وعلى العالم بأسره. ■

وقت الشاشة

كم من الوقت يُعتبر وقتًا طويلًا؟ دراسة تحليلية تحاول الحصول على الإجابة الحقيقية لسؤال محوري.

لقد بات السؤال المميز لعصرنا الحالي هو: هل يقضي الأطفال والمراهقون أوقاتًا تتجاوز المعدلات الصحية وهم يحدقون في شاشة الهاتف المحمول، أو الحاسوب اللوحي، أو الحاسوب؟ هل يجب على الوالدين أن يحدّا من استخدام أبنائهما لهذه الأجهزة؟ وهل يجب على الحكومات أن تفعل ذلك أيضًا؟

ووفقًا لدراسة استقصائية أجراها مركز بيو للأبحاث في عام 2018، قال جميع المراهقين الأمريكيين تقريبًا إنهم يستخدمون هاتفًا ذكيًا، وقال حوالي نصفهم إنهم متصلون بالإنترنت بصورة شبه دائمة (انظر: go.nature.com/2akajas). وفي المملكة المتحدة، وجدت هيئة تنظيم صناعة الاتصالات «أوفكوم» Ofcom أن الوقت الذي يقضيه الشباب على الإنترنت يكاد يكون قد تضاعف على مدار العقد الماضي (انظر: go.nature.com/2hd0c4p). وتزداد مخاوف الأبوين أيضًا من معدل استخدام أبنائهم لوسائل الإعلام. وترجع هذه المخاوف المتزايدة إلى المحتوى الذي تتضمنه العناوين الرئيسة، والتصريحات السياسية. وفي 2 أكتوبر 2018، أصدر وزير الصحة البريطاني مات هانكوك تحذيرًا عاجلًا، قال فيه إن التهديد الذي تشكله وسائل التواصل الاجتماعي على الصحة النفسية للأطفال لا يختلف عن التهديد الذي يشكله تناول السكر على صحتهم البدنية.

في الحالات التي يتضح فيها وجود مثل هذا القلق العام العميق، غالبًا ما تقع مسؤولية تقديم الأدلة وتقييمها، ومن ثم الخروج ببعض التوصيات، على عاتق المجتمع العلمي، إلا أن الأبحاث العلمية في هذا المجال لديها تحدياتها الخاصة، وشكوك بالقدر نفسه تقريبًا.

إنّ الأدلة الحالية على وجود علاقة ارتباطية بين استخدام التكنولوجيا الرقمية ومستوى سلامة المراهقين تُعَد أدلة متناقضة، فضلًا عن أنها أدلة مستمَدة أساسًا من دراسات استقصائية لعينات ثابتة من الأسر المعيشية، واستطلاعات اجتماعية أخرى واسعة النطاق، وذلك بمشاركات تتراوح بين الآلاف والملايين من المُستَطْلَعين. وتمثل الأسئلة حلًّا وسطًا بين تحقيق الفائدة، وعدم إثقال كواهل المُستَطْلَعين بالكثير من الأعباء. ولهذا.. تكون الأسئلة في العادة مبسَّطة، وغير معيارية، ولا تتسق بشكل مباشر مع الأدوات المعتمدة التي يستخدمها العلماء الإكلينيكيون، أو علماء الاجتماع؛ لقياس مفاهيم بعينها، مثل: «السلامة»، و«استخدام التكنولوجيا».

ولذا.. فإن الباحثين الذين يستخدمون هذه البيانات للإجابة على تساؤلات حول تأثير التكنولوجيا يجب عليهم اتخاذ عدة قرارات. وحسب درجة تعقيد مجموعة البيانات، يمكن تحليل المتغيرات إحصائيًّا بتريليونات الطرق، وهذا يجعل أي نمط تقريبًا من النتائج نمطًا ممكنًا. ونتيجة لهذا، تشير الدراسات إلى وجود وعدم وجود علاقة ارتباطية بين وقت الشاشة، ومستوى السلامة، حتى عند إجراء تحليل لمجموعة البيانات نفسها. وبطبيعة الحال، فإن البحث الذي يُلقي الضوء على المخاطر المحتملة هو الذي يستحوذ على اهتمام الجمهور، ويساعد على وضع أجندة السياسات.

في الأسبوع الثالث من يناير الماضي، نشرت دورية «نيتشر هيومان بيهيفيور» *Nature Human Behaviour* دراسة تقدم منهجية مختلفة (A. Orben and A. K. Przybylski *Nature Hum. Behav.* https://doi.org/10.1038/s41562-018-0506-1; 2019). يدرس مؤلفو هذه الدراسة ثلاث مجموعات بيانية رئيسة واسعة النطاق، اثنتان من الولايات المتحدة، وواحدة من المملكة المتحدة، وهي مجموعات بيانية تتضمن معلومات عن مستوى سلامة المراهقين، واستخدام التكنولوجيا الرقمية، ومجموعة واسعة من المتغيرات الأخرى. وبدلًا من إجراء تحليل إحصائي واحد، أو عدد قليل منها، يُجْرِي الباحثون جميع التحليلات الممكنة نظريًّا (الدمج بين المتغيرات التابعة والمستقلة، مع متغيرات مصاحِبة، أو بدونها)، وفي حالة دراسة مجموعة بيانية واحدة، يكون هناك أكثر من 40 ألف تحليل إحصائي. هذا الأمر يسمح للباحثين بتحديد كيف يمكن أن تتنوع العلاقة الارتباطية بين استخدام التكنولوجيا الرقمية ومستوى السلامة – من قيمة سالبة إلى قيمة غير ذات أهمية، إلى قيمة موجبة – حسب الطريقة التي تُستخدم بها مجموعة البيانات نفسها.

> "نحتاج إلى بيانات أكثر وأدق؛ لتحديد التأثيرات الناجمة عن الثورة الرقمية".

كشفت الحسابات الإجمالية التي أجراها الباحثون عن وجود ارتباط سلبي ذي دلالة إحصائية بين استخدام التكنولوجيا ومستوى السلامة؛ بمعنى أن قضاء أوقات أطول أمام الشاشات يرتبط بوجود مستوى أقل من السلامة لدى الشباب المشمولين في الدراسة الاستقصائية، لكنّ التأثيرات تكون محدودة للغاية (لا تفسر سوى 0.4% كَحَدّ أقصى من التباين في مستويات السلامة)، لدرجة تجعل منها تأثيرات ذات قيمة عملية محدودة.

ولوضع ذلك في سياقه، نظر الباحثون أيضًا إلى العلاقات التي تربط بين مستوى السلامة، ومجموعة من المتغيرات الأخرى، مثل الإفراط في تناول الخمور، أو التعرض للتنمر، أو التدخين، أو الحصول على قدر كاف من النوم، أو تناول وجبة الإفطار، أو تناول الخضراوات، أو ارتداء النظارات الطبية، أو الذهاب إلى السينما. وكان مستوى السلامة مرتبطًا بشكل أقوى بمعظم هذه المتغيرات الأخرى – سواءً بالإيجاب، أم بالسلب – أكثر من ارتباطه باستخدام التكنولوجيا الرقمية. في الواقع، كان تناول البطاطس بانتظام مرتبطًا ارتباطًا سلبيًّا بالسلامة تقريبًا بالقدر نفسه لارتباط استخدام التكنولوجيا سلبيًّا بها، وكان الارتباط السلبي بين ارتداء النظارات الطبية والسلامة ارتباطًا أكبر.

إنّ هذا البحث لا يمثل القول الفصل في هذه القضية؛ فالنتائج التي يخلص إليها تعتمد أساسًا على دراسة العلاقات الارتباطية، وليس العلاقات السببية المحتملة. ومع ذلك.. يشير المقال إلى أن التحذيرات الشديدة ليست في محلها، وهذا يُعَد تذكيرًا بأن محدودية الأدلة يمكن أن تشوه الخطاب الموجَّه إلى الجمهور، عندما تكون القضية محل اهتمام واسع، مثل تلك الحالات التي تكون فيها قرارات الأبوين وصحة الأطفال جزءًا من القضية. كان هذا هو الاستنتاج الذي خلصت إليه أيضًا الكلية المَلَكِية لطب الأطفال وصحة الطفل بالمملكة المتحدة، وذلك في دليلها الإرشادي عن الآثار الصحية المرتبطة بوقت الشاشة، الصادر في يناير الماضي.

لا شك أن الثورة الرقمية تغيِّر من وجه الحياة الحديثة، مما يجعلنا في حاجة إلى بيانات أكثر وأدق؛ لتحديد التأثيرات الناجمة عنها. وفي حالتنا تلك.. نحتاج إلى بيانات حول ما إذا كان استخدام وسائل الإعلام يؤدي إلى تراجع مستوى السلامة، أو ما إذا كان تراجع مستوى السلامة يؤدي إلى استخدام أكبر لوسائل الإعلام، أو ما إذا كان هناك متغير ثالث يقف وراء هذين الأمرين. وفي الوقت نفسه، يمكن القول إن نتائج الدراسة المُشار إليها تضع العلاقة الارتباطية بين استخدام المراهقين للتكنولوجيا، ومستوى سلامتهم في سياقها الصحيح، وتسلط الضوء على أهمية الأساليب التحليلية المُحْكمة فيما يتعلق بتحليل البيانات الاجتماعية الضخمة. ■

ARABICEDITION.NATURE.COM

للتعليق على المقالات، اضغط على المقالات الافتتاحية بعد الدخول على الرابط التالي:
go.nature.com/nqvdkp


JACOB SAHERTIAN

تقنية تحرير الجينوم في البشر: اسأل عن جواز ممارستها لا كيفيتها

يحذر **جيه. بنجامين هيرلبوت** من أن يجهض رد فعل الأوساط العلمية تجاه التوأمتين اللتين خضعتا للتحرير الجيني بتقنية كريسبر فتح نِقاش أوسع للقضية داخل المجتمع.

يسعى قادة الأوساط العلمية - بشكل حثيث - لوضع معايير دولية لولادة الأجنة البشرية المعدَّلة وراثيًّا. ويأتي ذلك كرد فعل منهم لما أعلنه العالِم الصيني هُو جيانكواي في نوفمبر الماضي، الذي يزعم مولد رضيعتين توأمتين معدلتين وراثيًّا بتغييرات أجراها عليهما بتقنية التحرير الجيني عندما كانتا جنينين.

في دعوتهم لوضع معايير لولادة مثل هاتين الرضيعتين المعدلتين وراثيًّا بتقنية «كريسبر» CRISPR للتحرير الجيني، نحّى هؤلاء القادة جانبًا سؤالًا حاسمًا لم يحظ بإجابة عليه حتى الآن: هل سيكون (أو يمكن أن يكون على الإطلاق) من المقبول إجراء هندسة وراثية للأطفال بإدخال تغييرات سيمررها هؤلاء الأطفال إلى نسلهم من بعدهم؟ هذا السؤال لا يخص العلم وحده، بل يخصّ البشرية كلها؛ فنحن لم نفهم بعد تأثير إجراء تغييرات جينية قابلة للتوريث على علاقاتنا الأساسية؛ علاقة الأب والأم بطفلهما، والطبيب بمريضه، والدولة بمواطنيها، والمجتمع بأعضائه.

في عام 2015، اتفق المنظِّمون الاثنا عشر من العلماء وأخصائيو الأخلاقيات البيولوجية الذين نظموا الانعقاد الأول من «القمة الدولية حول التحرير الجيني في البشر» على هذا الأمر، وقالوا إن المضي قدمًا في إجراء تعديلات قابلة للتوريث في جينات البشر يُعتبر تصرفًا غير مسؤول، ما لم يتم تحقيق شرطين؛ الشرط الأول هو إثبات سلامة الإجراء وفعاليته، والثاني هو وجود "إجماع مجتمعي واسع النطاق" بشأن ملاءمة المضيّ قدمًا في هذا الأمر.

إلا أنه، بعد مرور ما يزيد قليلًا على الثلاث سنوات، يبدو أن قادة هذه القمة قد تخلوا عن تمسكهم بالتوافق المجتمعي (انظر: go.nature.com/2rowv3g)، ومن ثم التزامهم بضمان استرشاد قائمة اهتمامات العلوم برأي المجتمع البشري الأوسع. وبجعلهم مسألة التحرير الجيني أمرًا راجعًا إلى اختصاص عيادة الخصوبة، هم بذلك يسيئون الحُكْم على الأمور؛ كأنما يقولون في واقع الأمر إن تجربة جيانكواي مثلت إشكالية، ليس بسبب ما فعله، ولكن بسبب الطريقة التي فعل بها هذا الأمر. ولكن المشكلة الحقيقية تكمن في أن جيانكواي استأثر بمسؤولية اتخاذ قرار يخصّنا جميعًا. والآن، يخاطر قادة العلم بتكرار الخطأ نفسه. ولإحراز تقدم في اتجاه إيجابي، يجب ألا تكون لدى العِلْم الجرأة على تحديد الوجهة التي ستمضي إليها تقنية من التقنيات، بل يجب أن يتبع الاتجاه الذي نمليه عليه نحن البشر؛ فالعِلْم أداة في خدمة المجتمعات التي هو جزء منها. والحيدان عن هذا المبدأ سيضر بالعلم نفسه، وبمستقبل البشرية.

ويجب أن يكون المستقبل مستندًا إلى تقاليد فكرية متنوعة – فيما يتعلق بالقوانين، والنظرية السياسية، والعلوم الإنسانية، والفنون، والدين – وإلى التجربة الإنسانية الثرية. ومع ذلك، يسعى قادة العلوم إلى أن ينأوا بأنفسهم، وأن يقوموا بترتيب أمورهم فيما بينهم، فيستدعون مجددًا «مؤتمر أسيلومار حول الحمض النووي المؤتلف»، الذي عُقِدَ في عام 1975، باعتباره مؤتمرًا شَكَّل سابقة. إنّ هذا لا يُعتبر ماضيًا عريقًا، أو طريقة سليمة للحوكمة؛ ففي مؤتمر أسيلومار حَلّ العلماءُ مسألة كانت تشكل شاغلًا عامًّا لدى للجمهور، بدون إشراك الجمهور. وقد عَلَّق السيناتور الأمريكي إدوارد كينيدي على هذا قائلًا: "لقد كانوا بصدد صنع سياسة عامة، ولكنهم كانوا يصنعونها على انفراد فيما بينهم". وقد سمح هذا الأمر بالمضي قدمًا في الأبحاث، إلا أن هذا جاء على حساب فقدان مصداقيتهم لدى الجمهور.

بعد مرور أربعة عقود على هذا الأمر، يجب علينا أن نسلك مسلكًا مختلفًا؛ ثمة أمور عرضة للخطر أكثر من مجرد مستقبل تقنية تحرير الجينوم، أو التوصُّل إلى علاجات للاضطرابات الوراثية؛ فالطرق التي نتبعها كمجتمع بشري؛ لتوجيه وحوكمة مستقبلنا التكنولوجي على المحك أيضًا.

يقترح البعض ترك هذه الحوكمة للتشريعات القومية وآليات السوق، فهذا من شأنه أن يسمح للدول باحتواء الآثار المترتبة فيما داخل حدود كل دولة، ولكنه ينكر على الإنسانية حقها في أداء دورها في تحديد الأمور المستقبلية التي ينبغي أن تخرج إلى حيز الوجود. لطالما كانت البلدان الأوروبية التسعة والعشرون التي صدّقت على اتفاقية أوفييدو لعام 1997 تعتقد أن إجراء تعديلات جينية قابلة للتوريث على البشر أمر ينتهك حقوق الإنسان وكرامته. إن المشكلات القائمة الناجمة عن السياحة لأغراض الإنجاب – بدءًا من بيع البويضات، وانتهاءً بالعودة بأطفال وُلدوا من خلال تأجير الأرحام في بلدان تطبِّق قوانين أقل صرامة – سوف تبدو مشكلات طفيفة، مقارنة بهذا الأمر.

لقد خلق الجدل المُثار حول تجارب جيانكواي فرصة وحاجة ملحة إلى الابتكار في منظومة الحوكمة العالمية في مجالات العلوم والتكنولوجيا. وسوف يتطلب إحراز تقدُّم نحو تحقيق اتفاق جماعي في الآراء وجود توافق واسع بشأن ما تجب مناقشته، وماهية الشروط التي ستدور المناقشة في ضوئها. هل هو التقييم العلمي لمستويات السلامة والفعالية؟ أم مدى استقلالية المرضى؟ أم كرامة الانسان؟ وهذا، بدوره، يتطلب وضع صيغ وسطية للتوافق في الآراء حول ماهية المسألة المعرضة للخطر، ومن هم أصحاب المنفعة في هذه المسألة، وطبيعة التساؤلات التي يجب طرحها، وأشكال المباحثات التي سيتم تداولها.

حاليًّا، أقود أنا وزميلتي شيلا جاسانوف، وزميلي كريشانو ساها تجربة تتمثل في مرصد عالمي معنيّ بعقد هذه النوعية من المباحثات عبر مختلف التخصصات، والثقافات، والبلدان (2018 ;437-see S. Jasanoff *et al*. *Nature* **555**, 435). هذه المباحثات من شأنها أن تحسِّن مستوى حوكمة تقنية تحرير الجينوم، وبإمكانها أن تقدم المزيد، حيث إنها قد تعزز أواصر الثقة التي تربط بين العلوم والمؤسسات الأخرى المعنية بالحوكمة، ومساعدتنا على التلاقي معًا كمجتمع إنساني، وتخيُّل الآفاق التكنولوجية التي نتمنى جميعًا الترحيب بها، أو تفادي حدوثها.

> الطرق التي نتبعها **كمجتمع بشري** لتوجيه وحوكمة مستقبلنا التكنولوجي **على المحك.**

إنّ تخيُّل تلك الآفاق يتطلب منا التعرف على الأنماط التي كانت سائدة في الماضي. ففي عام 1958، عبّرت الفيلسوفة هانا آرنت عن قلقها من أن تقنياتنا قد تجعلنا "غير قادرين على الفهم؛ أي غير قادرين على أن نفكر ونتحدث عن الأشياء التي مع ذلك بإمكاننا فعلها". وأوضحت آرنت أن الفهم يتعلق بممارسة السياسة؛ أي أن نصبح جمهورًا قادرًا على "التفكير والتحدث" معًا حول مستقبلنا المشترك. لقد كان من الشجاعة تخيُّل مثل هذه السياسة في لحظة الانكسار تلك التي أعقبت أحداث أوشفيتز، عندما هددت القنبلة الذرية – ذلك المنتَج الاستثنائي وليد العبقرية العلمية – بإخماد الحضارة.

إنّ اللحظة التي نحن بصددها الآن تتطلب أيضًا قدرًا كبيرًا من الأمل. ويجب ألا نسمح بأن تُستبدَل الجهود المضنية والصادقة التي بُذلت لكي نتعلم أن نفكر ونتحدث كمجتمع بشري بمجرد نزوة لتطبيق التقنيات دون تمييز. إننا إذا سمحنا بهذا، قد يأتي الضرر من تلك التقنيات الجديدة القوية التي لم نفهمها جيدًا بعد، ولكننا نطبقها لمجرد أننا قادرون على ذلك. ■

جيه. بنجامين هيرلبوت أستاذ مشارك في علم الأحياء والمجتمع في جامعة ولاية أريزونا بمدينة تيمي.
البريد الإلكتروني: bhurlbut@asu.edu

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

نظرة شخصية على الأحداث


OFFICE OF THE CHIEF SCIENTIST

الطريق إلى الأبحاث الرديئة مفروش بالنوايا الحسنة

ألان فينكل، كبير علماء أستراليا، يدعو إلى اتخاذ إجراءات رسمية تهدف إلى إرساء ممارسات بحثية أفضل.

في عام 1969، تغيبتُ عن المدرسة؛ لأشاهد أول هبوط للإنسان على سطح القمر. وبعد خمسين عامًا، أصبحتُ أجد صعوبة في تخيل أي حدث مِن شأنه أن يُبرر التغيب عن المدرسة في أيامنا هذه. السبب في ذلك ليس نقص الإنجازات في مجال الأبحاث، بل بالأحرى زيادة وتيرتها؛ فإذا ما أهمل الأطفال دراستهم في كل مرة يذيع فيها التليفزيون نبأ اكتشاف علمي مهم فسينتهي بهم الحال إلى ألّا يحصلوا على أي تعليم على الإطلاق.

ومع ذلك، ثمة أصوات تعبِّر عن قلق متزايد بشأن مدى رصانة الأبحاث المنشورة، وإمكانية تكرار نتائجها. والمشكلات المتعلقة بالتحليلات والسير الذاتية المُبالَغ فيها معروفة جيدًا. أما الحوافز المالية والمهنية، فتدفع الباحثين إلى الاستمرار في إجراء الأبحاث، وإنتاج الأوراق البحثية بغزارة، كالآلة.

من بين الـ 1.6 مليون ورقة بحثية تقريبًا، التي تُضاف كل عام إلى قاعدة البيانات «ويب أوف ساينس» Web of Science، لا يمكننا معرفة كَمّ ورقة بحثية تشوبها العيوب، نتيجة لذلك الأمر؛ إلا أننا قد نتفق على ضرورة تحويل تركيزنا من الكَمّ إلى الكيف، إذا أردنا أن نحمي أنفسنا من الأبحاث الرديئة.

إذًا، كيف السبيل إلى ذلك؟

بصفتي كبير العلماء في أستراليا، تتضمن مسؤولياتي إسداء المشورة للمسؤولين الحكوميين، ومساندة جهود تطوير العلوم محليًّا وعالميًّا. في أواخر العام الماضي، نظّمتُ اجتماعًا رفيع المستوى في كانبيرا، لمناقشة المنهجيات المُجربة، وكيفية الارتقاء بأفْضلها، لتصبح التزامات. كان الحاضرون أكثر قليلًا من 12 شخصًا، ما بين نواب مستشارين لمؤسسات أكاديمية، ورؤساء هيئات مانحة، ووكلاء لنواب مستشارين لمؤسسات أكاديمية، وكبار علماء وباحثين، وأخصائيي نشر، كان من بينهم فيليب كامْبل، رئيس التحرير السابق لدورية *Nature*. لقد تحدثنا بصدق عن موضوعات صعبة. وقد خرجتُ بالعديد من الأفكار بشأن كيفية الانتقال من مجرد النوايا الحسنة إلى العمل على إجراء أبحاث أفضل.

إنّ أهم ما يجب أن نفعله هو التخلي عن افتراض أنّ منظومة المتدرِّب المساعد السلبي منظومة فاعلة. لقد كنتُ محظوظًا عندما تدربتُ تحت إشراف عالِم عظيم، هو عالِم الأعصاب ستيف ريدمان في الجامعة الأسترالية الوطنية في كانبيرا. كان يلقي بنا في المياه العميقة؛ ليعلِّمنا السباحة، ولكنه لم يكن ليدعنا نغرق. كنا منغمسين في بيئةٍ، يأخذ فيها إنتاج الأوراق البحثية وقته؛ بيئة تشجع على طرح الأسئلة، والتأمل الذاتي. لقد منحني ريدمان المساحة اللازمة لأصنع قراراتي بنفسي، وأتاح لي الفرص؛ لكي أكتسِب الخبرة التي كنتُ أحتاجها. كان يشجعني على دراسة مقررات جامعية، وقضاء أسابيع في مختبر أحد الزملاء، وتعلُّم الأساسيات من الموظفين التقنيين. وفي هذا العمق، كوَّنْتُ فهمًا عميقًا لما يعنيه أن تَكون عالمًا، دون أن أحصل على أي دورة تدريبية متخصصة من المنظومة العلمية.

في أيامنا هذه، لم تعد الأمور كما كانت. لم يعد بإمكاننا الاعتماد على نموذج يَفترِض وجود ما يكفي من الوقت والموارد لدى مشرفينا الأكاديميين، وقد باتوا لا يملكون أيًّا منهما. يجب على المؤسسات تقديم توجيهات صريحة فيما يتعلق بنزاهة الأبحاث، وإدارة البيانات، والأمور التي يجب توقعها خلال المسار الوظيفي. يُعَد التدريب بالفعل أمرًا إلزاميًّا في بعض المناطق، وبعض المجالات. على سبيل المثال، في الولايات المتحدة، غالبًا ما تشترط الزمالات التدريبية اجتياز دورات عن قواعد السلوك المسؤولة عمّا يتعلق بإجراء الأبحاث العلمية. وفي أستراليا، يجب على الأشخاص الذين يعملون عن قرب مع الحيوانات إكمال دورة تدريبية عن كيفية التعامل مع الحيوانات ولضمان تحقيق أقصى استفادة من التدريب، ينبغي أن تكون البرامج معتمَدة، وذات طبيعة عملية، وأنْ يتم احترامها.

كذلك يجب أن يُشترط على المؤسسات تدريب مشرفي مرحلة الدكتوراة في مجال التوجيه والإشراف، وعلى دور القادة في خلق ثقافة بحثية سليمة. وبالإضافة إلى ذلك، يجب ألا يُقيم المشرفين والموجهين الأكاديميين من منطلق عدد الأشخاص الذين أشرفوا عليهم، وإنما من واقع بيانات الأثر البحثي المتعلقة بالمشروعات، ومن واقع تطور المسار المهني لاثنين - على الأقل - من طلاب الدكتوراة؛ وفي الحالة المثالية، طالبة واحدة، وطالب واحد على الأقل. وليس لديَّ عِلْم عن أيّ مؤسسة تشترط حاليًّا تطبيق مثل هذه الممارسة.

وبعد ذلك، يجب على المؤسسات أن تستجيب للدعوات المتزايدة للتخلي عن حساب عدد الأوراق البحثية، والمقاييس المماثلة المستخدَمة في تقييم الباحثين. لقد أظهر أحد الأساليب البديلة – أسلوب «قاعدة الخمسة» – التزامًا واضحًا بالجودة، وفيه يقدِّم أفضل خمس أوراق بحثية أنتجوها على مدار السنوات الخمس الماضية، مصحوبة بوصف للبحث، وأثره، ولإسهامات الباحثين الفردية. الأرقام الدقيقة لا أهمية لها؛ فما يهمّ هو التركيز على الجودة. عدد قليل من المؤسسات يشترط على المراجعين أخذ الإسهامات الفردية في الاعتبار، بدلًا من قوائم المنشورات.

> يجب التخلي عن افتراض أنّ منظومة **المتدرِّب السلبي** منظومة فاعلة.

وينبغي تنبيه المراجعين، على سبيل المثال، إلى ضرورة استخدام محرك «جوجل» للبحث عن «مؤشرات هيرش» h-indices، وقوائم الاستشهادات الخاصة بفرادى الباحثين. على الجهات التمويلية تصدر الجهود الرامية لإحداث هذا؛ فلا يجب اعتبار أي شخص مؤهَّلًا للحصول على المِنَح، إلا إذا أكملوا برنامجًا تدريبيًّا معتمَدًا في مجال نزاهة الأبحاث. لقد تبنَّتْ بالفعل هيئات "قاعدة الخمسة" في بعض البرامج. ويجب على هذه الهيئات أن تفعل أكثر من ذلك، وتضمن إعطاء التقييمات ثقلًا لإسهامات المتقدم في الممارسات المهنية، مثل التوجيه الأكاديمي، وأعمال مراجعات الأقران.

ويجب على الدوريات العلمية أن تتحول من كونها مجرد جهات ناشرة للمعرفة إلى كونها جهات راعية للمعرفة. إنّ رعاة المعرفة لن يقوموا بنشر الأبحاث، ومِن ثَم ينسون أمرها، بل سيضمنون أنْ تَظَلّ البيانات متاحة، وسيعطون الأولوية للاهتمامات المتعلقة بجودة الأبحاث. يشمل ذلك إجراء تحقيقات فورية عند الاشتباه في وجود أبحاث منشورة تشوبها عيوب. ولا ينبغي لورقة بحثية تم سَحْبها بعد النشر أن تختفي من الوجود، بل يجب وَسْمها على المواقع الإلكترونية الخاصة بالدوريات بعلامةٍ واضحة تقول إنها "ورقة تم سَحْبها". ويتعين بذْل بعض الجهد؛ لإخطار القراء والباحثين الذين استشهدوا بهذه الورقة بهذا الأمر. لقد قامت لجنة أخلاقيات النشر، ومركز العلوم المفتوحة بتدوين هذه المعايير، التي تأخر اعتمادها من جانب العديد من دور النشر، ونتيجة لذلك، لا تزال المزاعم التي تم التراجع عنها وسَحْبها بعد النشر منتشرة بلا توقف. وقد خلصت تحليلات إلى أن أوراقًا بحثية عديدة تتلقى عددًا أكبر من الاستشهادات بعد سَحْبها، عن ذي قبل.

إن الناس يستجيبون للحوافز، ولن يأتي التغيير، إلا عندما تكون المِنَح والترقيات مرهونة بأفضل الممارسات. وإذا لم يحدث هذا، فسنظل نتحدث عن هذه المشكلة أثناء متابعتنا لمهامّ الهبوط القادمة على سطح القمر. ■

ألان فينكل كبير علماء أستراليا.
البريد الإلكتروني: alan.finkel@chiefscientist.gov.au

أضـواء على الأبحـاث مقتطفات من الأدبيات العلميـة

علم الأعصاب

أسماك تنجو من إصابات الحبل الشوكي

هناك سمكة عديمة الفك، تسمَّى «سمكة الجلكي»، تُعرف بقدرتها على التكيف؛ فبعد أن يُقطع حبلها الشوكي، يمكنها أن تعيد إنماء جزء من الجهاز العصبي المركزي، وتستأنف السباحة بشكل طبيعي. واكتشف العلماء مؤخرًا أن سمك الجلكي البحري (*Petromyzon marinus*) يمكن أن يحاكي نفس الفعل، حتى إذا تعرّض المكان نفسه لإصابة أخرى.

قطعتْ جينيفر مورجان، من المختبر البيولوجي البحري في وودز هول بولاية ماساتشوستس، وزملاؤها الجزء العلوي من الحبل الشوكي لسمك الجلكي. في البداية، لم يحرك السمك سوى رؤوسه، ولكن على مدار 11 أسبوعًا، استعاد سمك الجلكي تدريجيًّا حركات السباحة المتموجة. وخلال هذه الفترة، تجددت مجموعة فرعية من الألياف العصبية التي تمتد من الدماغ إلى أسفل الحبل الشوكي، مما أدى إلى تعويض منطقة الإصابة. وعندما قطع الباحثون الحبل الشوكي عند المكان نفسه، جَدَّد سمك الجلكي مرة أخرى بعض أليافه العصبية، واستعاد قدرته على الحركة.

وقد يكشف المزيد من الدراسات عن سبب امتلاك سمك الجلكي قدرات أكبر على التجدد، مقارنة بأنواع أخرى عديدة. كما قد تساعد الدراسات المستقبلية في الكشف عن العوامل التي تمنع تجدُّد الجهاز العصبي المركزي في الثدييات.

***PLoS ONE* 14, e0204193 (2019)**



ROBERT DALEY/GETTY

ديناميكا الموائع

الفيزياء تؤازر السَّباحِين المتعقبين

يستطيع السباحون خفض مقاومة المياه بشدة أثناء السباحة؛ عن طريق تعقب مسار المنافِس؛ فخلال السباقات في كل من المياه المفتوحة، وحمامات السباحة، يتبع السباحون غالبًا "التيار المتدافع"، عن طريق التأخر خلف المنافسين، وإلى جانبهم، حيث يدخر السباحون المتعقبون طاقتهم، عن طريق ركوب موجة المقدمة للسباح المتقدم، وهي موجة على شكل حرف «V»، تنشأ عندما يشق السباح المياه.

استخدم مينجكسين لي، من جامعة ستراثكلايد في جلاسجو، المملكة المتحدة، وزملاؤه نماذج هيدروديناميكية لأجسام مبسطة شبيهة بجسم الإنسان؛ لحساب فوائد السباحة في التيار المتدافع. ووجد الباحثون أنه عند سرعات التسابق، التي تبلغ مترين في الثانية، تقع المنطقة المثالية لركوب تيار على مسافة تقلّ عن أربعة أمثال طول الجسم خلف السباح المتقدم، وعلى بعد 1.7 متر إلى جانبه. وفي هذه البقعة المرغوبة، انخفضت المقاومة بنسبة 30% تقريبًا.

يُوَلِّد السباح المتعقب المتمركز في الموقع الصحيح موجة مقدمة تتداخل - بشكل هدام - مع موجة المقدمة للسباح المتقدم. ويمحو هذا التداخل - بشكل جزئي - موجة المقدمة للمتقدم، تاركًا المياه هادئة في أعقابه.

ويقول الباحثون إنه برغم محدودية هذه الفائدة، بسبب حِبال الحارات في حمامات سباحة المخصصة للسباق، فإنها ما زالت ذات تأثير كبير.

***J. R. Soc. Interface* http://doi.org/czzr (2019)**

بيولوجيا الحفظ

حل سريع ينقذ حياة الطيور البحرية

ثمة تدبير رخيص، وبسيط، وفعال، يساعد على إنقاذ أعداد لا حصر لها من الطيور البحرية من الموت، نتيجة لصيد عارض غير مقصود من جرّاء استخدام تقنية الخيوط الطويلة في الصيد في ألاسكا.

تقدِّم المصائد ذات الخيوط الطويلة مأدبة شهية من الطُّعْم، ولكن بدلًا من الحصول على وجبة غذاء مجانية، غالبًا ما تجد الطيور نفسها عالقة في فخ مميت، أثناء غوصها تحت الماء لسرقة الطُّعم. ففي كل عام، تَعْلَق مئات الآلاف منها عن طريق الخطأ، وتُسحب إلى أعماق المحيط، حيث تغرق.

وفي محاولة للتصدي لهذا الاتجاه، قام إدوارد ميلفين، من معهد واشنطن لمنح الأبحاث البحرية في سياتل، وزملاؤه بتعليق أنابيب بلاستيكية برتقالية زاهية في خيوط فوق الماء؛ لإبعاد الطيور. وأفادوا بأن بين عامي 2002، و2015، ساعدت هذه "الأسيجة" البصرية على الحد من الصيد الخاطئ للطيور البحرية في مصائد الأسماك في ألاسكا، بنسبة 78%، بل إن هذا التدبير حال دون موت حوالي 675 طائرًا من طيور قطرس سنويًّا، من بينها طائر القطرس

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

قصير الذيل (*Phoebastria albatrus*)، وهو نوع نادر، ومحمي، اعتُقد سابقًا أنه انقرض.

Conserv. Biol. **http://doi.org/c2hx (2019)**

MARK WITTON, D. HONE *ET AL.*/PEERJ

علم المناعة

خلايا الأمعاء الدفاعية تحارب التصلب المتعدد

أثناء نوبات احتدام مرض التصلب المتعدد (MS) المزمن، يمكن أن يتحرك بعض خلايا المناعة المعوية؛ لإخماد الالتهاب في الجهاز العصبي المركزي.

يهاجم جهاز المناعة الغمد الواقي الذي يغلف الألياف العصبية لدى الأشخاص المصابين بمرض التصلب المتعدد. فقد تتبعت جين جوميرمان، من جامعة تورنتو بكندا، وزملاؤها الخلايا البلازمية – وهي نوع من الخلايا المناعية - في فئران مهجنة بحيث تظهر عليها أعراض شبيهة بمرض التصلب المتعدد. واكتشف الباحثون أنه في الفئران التي تعاني من التهاب الجهاز العصبي المركزي، تنتقل الخلايا البلازمية التي تنتج أجسام الجلوبيولين المناعي-أ المضادة (IgA)، من الأمعاء إلى الدماغ والحبل الشوكي. ويَدعم هذا الاكتشاف تحليل الفريق لعينات البراز من الأشخاص المصابين بمرض التصلب المتعدد أثناء نوبات احتدام المرض.

وبالمقارنة بالفئران التي تمتلك عددًا طبيعيًّا من الخلايا البلازمية، عانت الفئران - المعدلة وراثيًّا، لتصاب بنقص في الخلايا البلازمية - من أعراض أشد خطورة من الأعراض الشبيهة بمرض التصلب المتعدد، ولكنّ هذه الأعراض تحسنت عندما حُقنت هذه الفئران بخلايا بلازمية من أمعاء الفئران السليمة.

يقول الباحثون إن هذا الاكتشاف يشير إلى أهمية آلية الاتصال بين الأمعاء والجهاز العصبي في مجابهة مرض التصلب المتعدد.

Cell **http://doi.org/gfsnpm (2019)**

BSIP/UIG/GETTY

علم الحفريات

مأدبة أحفورية تروي قصة أسنان

هيمنت الزواحف المجنحة الرشيقة، المعروفة باسم التيروصورات على السماوات لملايين السنين، بينما كانت الديناصورات تجوب الأرض، لكنّ براعتها في الطيران لم تبق تيروصورًا واحدًا تعس الحظ بمأمن من فكي حيوان مفترس يُعرف باسم قرش جينسو Ginsu shark.

كان التيروصور المذكور من جنس *Pteranodon*، وهو من آكلات السمك، ويحلق فوق البحر بأجنحة قد يصل عرضها إلى 7.25 متر من الطرف إلى الطرف الآخر. وكان القرش من جنس *Cretoxyrhina mantelli*، وهو حيوان مفترس مخيف منقرض، وحظي بلقبه للتشابه بين أسنانه وأنصال علامة تجارية شهيرة من السكاكين. وأثناء فحص هيكل عظمي لهذا النوع من التيروصورات معروض في متحف، يعود تاريخه إلى حوالي 85 مليون سنة، تعرَّف ديفيد هون - من جامعة كوين ماري في لندن - وزملاؤه على الجسم المغروس في إحدى الفقرات العنقية للهيكل العظمي، على أنه سن من أسنان *C. mantelli*. يشير حجم السن إلى أن طول سمكة القرش كان 2.5 متر تقريبًا.

وربما اقتنصت سمكة القرش (في الصورة، حسب تصور الفنان) التيروصور أثناء تمايله فوق الأمواج، لكنْ يقول الباحثون إنه من المرجح أن جثة التيروصور قد طفت على سطح الماء لفترات طويلة، وهو ما سمح للقرش أيضًا بالتهام وليمته من الزواحف.

PeerJ **6, e6031 (2018)**

علم الأوبئة

التحديق في الشاشات يعرقل نمو الأطفال

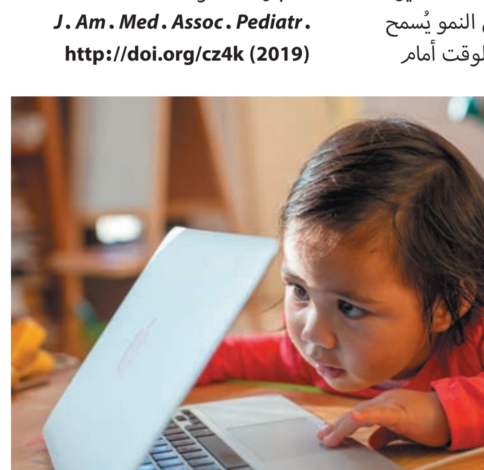
يحصل الأطفال الذين يقضون الكثير من أوقاتهم في التحديق في الشاشات عادة على درجات سيئة في اختبارات النمو الإدراكي والعاطفي، ولكنْ هل يعوق قضاء الوقت أمام الشاشة النمو؟ أم أن الأطفال الذين يعانون من صعوبات في النمو يُسمح لهم بقضاء المزيد من الوقت أمام الشاشات الساطعة؟



وللإجابة على هذا السؤال، حللت شيري ماديجان، من جامعة كالجاري في كندا، وزملاؤها أنماط النمو، وعادات قضاء الوقت أمام الشاشات لما يقرب من 2,500 طفل في كندا. ووجد الفريق البحثي أنه بالمقارنة بأولئك الذين أمضوا أوقاتًا قليلة نسبيًّا أمام الشاشة، فإن الأطفال الذين أمضوا المزيد من الوقت أمام الشاشة في سن الثانية حصلوا على نتائج أسوأ في اختبار النمو في سن الثالثة، والأطفال الذين قضوا وقتًا أطول أمام الشاشة في سن الثالثة حصلوا على نتائج أسوأ في الاختبار في سن الخامسة.

وعلى النقيض من ذلك، فإن الأداء الأسوأ في الاختبار لم يتنبأ بأن الطفل سيقضي وقتًا أطول في النظر إلى الحواسيب اللوحية، والأجهزة الإلكترونية المشابهة. وتشير هذه النتيجة إلى أن قضاء مدة طويلة أمام الشاشات يؤدي إلى انخفاض درجات اختبارات النمو.

J. Am. Med. Assoc. Pediatr. **http://doi.org/cz4k (2019)**



الطاقة المتجددة

الاستفادة القصوى من شمس الشتاء

يمكن أن يؤدي تركيب ألواح الطاقة الشمسية على الجبال المكسوة بالثلوج إلى تعزيز توليد الكهرباء عندما تكون هناك حاجة ماسة إليها في فصل الشتاء القارس المظلم.

لطالما واجهت أنظمة الطاقة الشمسية عقبات موسمية؛ فالألواح تنتج المزيد من الطاقة في الصيف أكثر منها في الشتاء، على الأقل في منطقة دوائر العرض المتوسطة، حيث يعيش معظم سكان الكوكب. ولتحقيق الهدف المتمثل في توليد 100% من الطاقة من مصادر متجددة، يحتاج واضعو التصاميم إلى إيجاد حلول لزيادة الإنتاج في فصل الشتاء.

وسعيًا لفعل ذلك، حلل فريق بحثي بقيادة أنيلين كال، من المعهد الاتحادي السويسري للتكنولوجيا بلوزان، آلية تأثير موقع ألواح الطاقة الشمسية في سويسرا واتجاهها على إنتاجية الألواح من الطاقة. ووجد الباحثون أن الإنتاجية ارتفعت عندما ثُبتت الألواح على ارتفاعات عالية، حيث تقل الغيوم التي تحجب أشعة الشمس، وكذلك في المناطق التي يكسوها الثلج، حيث يعكس الثلج الأشعة على الألواح. كما عزز تثبيت اللوحات رأسيًّا - مما يسمح بانزلاق الثلج من عليها – من إنتاجها بصورة أكبر.

وعندما بلغ فصل الشتاء ذروته، أنتجت الألواح المثبَّتة في الاتجاه الأمثل على جبال تكسوها الثلوج طاقةً أكثر بنسبة 150% مما أنتَجَتْه الألواح في المناطق الحضرية.

Proc. Natl Acad. Sci. USA **http://doi.org/czgk (2019)**

ميكروبيوم

الرضاعة الطبيعية تغيّر حليب الثدي

تعتمد نوعية الكائنات الحية المجهرية التي تعيش في حليب الأم - بشكل جزئي - على ما إذا كانت الأم ترضع طفلها مباشرة من الثدي، أم تعطي الرضيع حليبًا قامت بضخه في زجاجة.

يعج الحليب البشري بمجموعة متنوعة من الميكروبات، وبعضها يمكن أن يستقر في أمعاء الرضيع. وقد درست ميجان آزاد، من معهد البحوث التابع لمستشفى الأطفال في مانيتوبا في وينيبيج بكندا، وزملاؤها العوامل التي تؤثر على المحتوى الميكروبي لحليب الثدي، من خلال دراسة بيانات 393 زوجًا من الأمهات وأطفالهن، حيث أرضعت بعض الأمهات أطفالهن من الثدي فقط، واستخدمت أخريات مضخة الثدي الميكانيكية؛ لجمع الحليب، وإطعامه لأطفالهن.

ووجد الفريق البحثي أن حليب الأمهات اللواتي استخدمن المضخة تميَّز بتنوع ميكروبي أقل، وكان أكثر وفرة بمسببات الأمراض المحتملة، مقارنة بحليب الأمهات اللواتي أرضعن أطفالهن مباشرة من الثدي. وأظهر البحث أيضًا أن سلالة من سلالات *Bifidobacterium* - وهي مجموعة من البكتيريا التي توجد بشكل شائع في كل من الحليب البشري، والقناة الهضمية للرضيع - كانت أقل وفرة في حليب الأمهات اللواتي استخدمن المضخة.

تشير النتائج إلى أن الميكروبات الموجودة في فم الطفل قد تؤثر على التركيب الميكروبي لحليب الأم، ولكن لم تتضح بعد كيفية تأثير هذا الاختلاف – إن وُجِد - على صحة الرضيع.

***Cell Host Microbe* 25, 324–335 (2019)**



OLIVIER ASSELIN/ALAMY

المجتمع

تدني مستوى التعليم يؤدي إلى زيادة النمو السكاني

في ثمانينيات القرن الماضي، أخذت معدلات الخصوبة في أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى في الانخفاض، ولكنّ هذه الانخفاضات توقفت بين عامي 1995، و2000، وهو الاتجاه الذي يمكن رَبْطه بحدوث خلل في عملية تعليم الفتيات.

وتُعتبر منطقة أفريقيا جنوب الصحراء الكبرى هي المنطقة الوحيدة في العالم التي لم تتراجع فيها معدلات المواليد إلى مستويات منخفضة حتى الآن، مما يعني أن معدل الخصوبة في هذه المنطقة سوف يقود إلى ازدياد النمو السكاني على الصعيد العالمي. ودرس فولفجانج لوتس وزملاؤه، من المعهد الدولي لتحليل النظم التطبيقية في لاكسينبورج بالنمسا، بيانات ديموغرافية لأكثر من 650 ألف امرأة، وُلِدن بين عامي 1950، و1995 في 18 دولة أفريقية. ووجد الفريق البحثي أن توقُّف الانخفاض في معدلات الخصوبة قد يكون راجعًا إلى خفض الإنفاق على التعليم في ثمانينيات القرن الماضي، أثناء الاضطرابات الاقتصادية والسياسية في بعض البلدان، حيث بلغت الفتيات اللواتي كن في سن المرحلة الابتدائية في ثمانينيات القرن الماضي سن الإنجاب خلال الفترة التي استقر فيها انخفاض معدلات الخصوبة.

وبعد عام 2000، استأنفت معدلات الخصوبة مسار انخفاضها في العديد من البلدان المتضررة. ويقول الباحثون إن الاستثمار في تعليم الفتيات قد يدفع معدلات الخصوبة نحو مزيد من الانخفاض.

***Proc. Natl Acad. Sci. USA* http://doi.org/gft8nm (2019)**

علم الآثار

رُفات الكلاب تكشف قصص الدفن القديمة

يعود تاريخ ثلاثة هياكل عظمية لكلاب، عُثر عليها في وسط غرب الولايات المتحدة الأمريكية، إلى ما يقرب من 10 آلاف عام، مما يجعلها أول كلاب أليفة عُرفت في تاريخ الأمريكتين.

حللت أنجيلا بيري، من جامعة دورهام بالمملكة المتحدة، وزملاؤها هيكلين عظميين اكتُشِفا نتيجة أعمال الحفر في موقع «كوستر» Koster الأثري في ولاية إلينوي، وهيكلًا ثالثًا من موقع «ستيلويل» Stillwell المجاور. ووجد الباحثون أن الهيكلين العظميين من موقع «كوستر» يتراوح عمرهما بين 9700، و10100 عام، وأن الهيكل العظمي من موقع «ستيلويل» يبلغ العمر نفسه تقريبًا. ودُفنت الكلاب الثلاثة عن قصد من جانب الإنسان، مما يشير إلى وجود علاقة ذات مغزى بين الإنسان وهذا الحيوان. وتُعَد هذه أقدم عمليات دفن عن قصد في العالم لكلاب فردية.

وعلى الرغم من أن الكلاب الثلاثة عاشت في نفس الزمان والمكان، إلا أنها اختلفت في المظهر، حيث يقول الباحثون إن كلب موقع «ستيلويل» كان بحجم "كلب ساطر إنجليزي صغير معاصر"، في حين كان كلبا موقع «كوستر» أقصر وأقل وزنًا. وقد اقتاتت هذه الكلاب الثلاثة على الأسماك، وكانت تتمتع بأسلوب حياة مُفعم بالنشاط.

***Am. Antiq.* http://doi.org/czgn (2019)**

الفيزياء الكَمِّية

غاز جزيئي فائق البرودة

بعد عقد من الزمان من التجارب المختبرية في جميع أنحاء العالم، نجح باحثون في صنع غاز من جزيئات فائقة باردة، لدرجة أنها تصطدم بحدود علم الفيزياء الكمية.

يمكن تبريد الغازات المكونة من ذرات مفردة تبريدًا فائقًا؛

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

إلى أن تؤدي التأثيرات الكمية - السلوكيات الغريبة للجسيمات بالغة الصغر - إلى منع الذرات من التخلص من المزيد من الطاقة. إلا أن صنع هذا النوع من الغازات باستخدام الجزيئات من المهام بالغة الصعوبة، إذ تعتبر الجزيئات أكثر تعقيدًا من الناحية البنيوية من الذرات، وبالتالي هي أكثر قدرة على الاحتفاظ بالحركة والطاقة.

وعمل يون يو وفريقه البحثي، من جامعة كولورادو بولدر، على تبريد ملايين من ذرات الروبيديوم، والبوتاسيوم المفردة، حتى اقتربت من الحدود الكمية لدرجات الحرارة الباردة، ثم استخدم الباحثون مجالًا مغناطيسيًّا، ونبضات ضوئية؛ لجعل الذرات ترتبط معًا في شكل غاز يتألف من عشرات الآلاف من الجزيئات، عند درجات حرارة تبلغ جزءًا من 50 مليار جزء من الكلفن، وهي أقل بكثير من الحد الأدنى الذي تعمل عنده التأثيرات الكمية.

ويقول الباحثون إن دراسات هذه النوعية من الغازات الجزيئية يمكن أن تمنحنا نظرة جديدة إلى الكيمياء على المستوى الكَمّي.

Science **http://doi.org/czsn (2019)**

IIT-ISTITUTO ITALIANO DI TECNOLOGIA

تكنولوجيا

جزء روبوتيّ لولبيّ يلتفّ حول الأشياء

يلتف ذراع آلي مستدق الطرف - على غرار النباتات المتسلقة - حول الأجسام، مستخدمًا تقنية تعتمد على خاصية التناضح.

تثبّت بعض النباتات نفسها من خلال لفّ أجزاء لولبية منها حول البِنى المجاورة. ويمكن التحكم في هذه الأجزاء اللولبية من النبات - بشكل جزئي - من خلال خاصية التناضح؛ إذ يغير النبات تركيز الجسيمات داخل خلايا الأجزاء اللولبية، وحولها، مما يتسبب في تدفق المياه عبر جدران الخلايا المنفذة. وهكذا، تنتفخ الخلايا، أو تنكمش.

صمم إندريك ماست، وإدواردو سينيبالدي، وباربرا ماتسولاي، من المعهد الإيطالي للتكنولوجيا في بونتيديرا، جزءًا لولبيًّا اصطناعيًّا، مكوَّنًا من أنبوب بلاستيكي ملفوف (في الصورة، باللون الفضي). يحتوي الأنبوب على جزء مسامي، يعمل كغشاء منفذ، ومملوء بالسائل المحمّل بالإلكتروليت. وعند تطبيق الجهد الكهربائي، تجذب الأقطاب الكهربائية في قاعدة الجزء اللولبي أيونات السائل، وتركزّها، مما يجبر الماء على دخول الجزء اللولبيّ، ويؤدي إلى تمدده. وعند إزالة الجهد، ينقبض الجزء اللولبيّ، ويمكن أن يلتف حول ساق زهرة بمعدل مرة ونصف المرة تقريبًا في 25 دقيقة.

يقترح الباحثون أنه يمكن دمج هذا المبدأ في أذرع "الروبوتات المرنة"؛ لمساعدتها على التعامل مع الأشياء الهشة.

Nature Commun. **10, 344 (2019)**



بحوث طبية

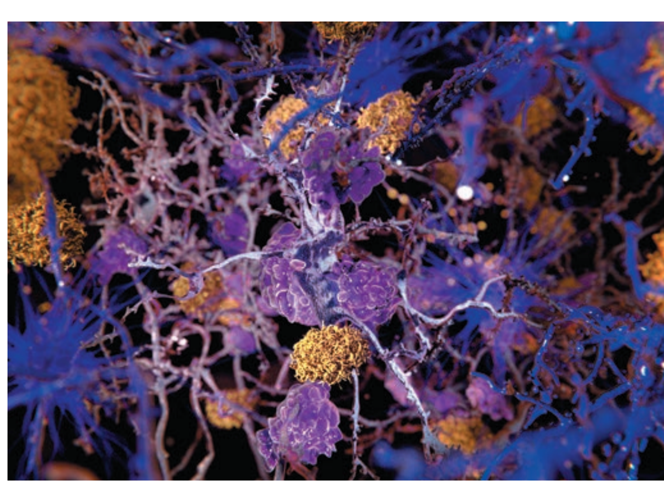
دواء للسكتة الدماغية قد يعالج ألزهايمر

نجح دواء تحت التطوير، مخصص لعلاج الأشخاص المصابين بسكتة دماغية، في حماية الفئران من بعض أعراض مرض ألزهايمر أيضًا.

ويُعَدّ هذا العقار، 3K3A-APC، نسخة معدَّلة وراثيًّا من بروتين في الدم البشري يقلل من الالتهاب، ويساعد أيضًا على منع الخلايا العصبية، والخلايا التي تبطن جدران الأوعية الدموية من التنكس. وقد اختبر بريسلاف زلوكوفيتش، من جامعة جنوب كاليفورنيا في لوس أنجيليس، وزملاؤه ما إذا كان بإمكانه أيضًا حماية الدماغ من التأثيرات السامة لبروتين أميلويد بيتا؛ الذي يتراكم في الدماغ في مرض ألزهايمر، أم لا. ولمدة أربعة أشهر، تلقّت الفئران المعدَّلة وراثيًّا - لتكون عرضة لتراكم أميلويد بيتا - حقنًا يومية من عقار 3K3A-APC. خفَّض الدواء مستويات بروتين أميلويد بيتا في الدماغ بشكل كبير، وكان أداء الفئران التي عولجت مماثلًا لأداء نظيراتها السليمة في اختبارات الذاكرة في نهاية فترة العلاج.

أظهر العلماء أن عقار 3K3A-APC يمنع خلايا الدماغ من تصنيع إنزيم يُدعى BACE1، مطلوب لإنتاج بروتين أميلويد بيتا (البقع في الصورة باللون الأصفر بين الخلايا العصبية باللون الأزرق، والخلايا الدبيقية باللون البنفسجي). وفي تجربة إكلينيكية لعلاج السكتة الدماغية، ثبت أن العقار آمن، ويتحمله الجسم بشكل جيد. ويقول العلماء إنه علاج محتمل، يمكن استخدامه في علاج المراحل المبكرة من مرض ألزهايمر، عندما تكون مستويات أميلويد بيتا المتراكمة أقل من المستويات التي تتسبب في ضرر دائم.

J. Exp. Med. **http://doi.org/czsp (2019)**



JUAN GAERTNER/SPL

علم فيزياء الأرض

تحليل انزلاق أرضي ضخم

تَسبَّب انزلاق أرضي هائل حدث في الصين في توليد حرارة كافية لتبخير بعض المواد المنزلقة، مما أنتج دفقًا فائق السخونة، ساعد على اندفاع الانهيار الصخري إلى أسفل.

ففي عام 2008، حرر زلزال وينشوان، البالغة قوته 8.2 درجة على مقياس ريختر، أكثر من كيلومتر مكعب من التربة، والصخور من قمة وجانب جبل «داجوانجباو» Daguangbao في وسط الصين. وحلل فريق بحثي بقيادة رونقيو وانج، من جامعة تشنجدو للتكنولوجيا في الصين، عينات الصخور من الانزلاق الأرضي؛ لدراسة الظروف داخل التدفق. وبمقارنة عينات الصخور بنتائج تجارب الاحتكاك في المختبر، خلص الباحثون إلى أن درجات الحرارة عند الحد الفاصل بين الكتلة المنزلقة، والسطح المنحدر السليم، بلغت 850 درجة مئوية على الأقل.

هذه الحرارة من شأنها أن تبخر – جزئيًّا – معدنًا يُسمى «الدولوميت» في الصخور، مما يحرر غاز ثاني أكسيد الكربون ذا الضغط العالي والحرارة العالية أيضًا، وبخارًا من شأنه أن يساعد على دفع الكتلة المنزلقة. وفي الوقت نفسه، كان من شأن الضغط الهائل على المعادن أن يتسبب في إعادة بلورتها، الأمر الذي قد يؤدي إلى تزليق سطح الانزلاق، والسماح للحطام بالاندفاع أكثر من 4 كيلومترات من موقعه الأصلي.

يقدم هذا البحث أدلة على كيفية اندفاع الانزلاقات الأرضية الضخمة لمسافات طويلة.

Earth Planet. Sci. Lett. **510, 85–93 (2019)**

ARABICEDITION.NATURE.COM
يمكنك متابعة التحديث الأسبوعي للأخبار من خلال التسجيل على:
go.nature.com/hntmqc

صحة

عقار مضاد للاكتئاب

تخطت تركيبة من عقار الحفلات «كيتامين» المسبب للهلوسة إحدى العقبات الأخيرة التي تقف أمام استخدامها إكلينيكيًّا كمضاد للاكتئاب؛ ففي أثناء اجتماع عُقِدَ في الثاني عشر من فبراير الماضي بإدارة الغذاء والدواء الأمريكية في سيلفر سبرينج بولاية ميريلاند، صوتت لجنة استشارية مستقلة - بأغلبية أربعة عشر صوتًا، مقابل صوتين - لصالح التوصية باستخدام مركّب يُعرَف باسم «إسكيتامين» esketamine في علاج الاكتئاب. كان باحثون قد اكتشفوا خصائص الكيتامين المضادة للاكتئاب في مطلع العقد الأول من القرن الحالي، إلا أن طريقة عمل هذا العقار في الدماغ لا تزال غير واضحة. ما يعرفه العلماء هو أن العقار يعمل على تخفيف أعراض الاكتئاب بشكل سريع – خلال ساعات، بدلًا من أسابيع – وبشكل يختلف عن الأدوية الأخرى المعتمَدة لعلاج هذه الحالة المرضية. ويُتوقع أن تتخذ إدارة الغذاء والدواء قرارًا بشأن عقار إسكيتامين بحلول الرابع من مارس القادم.

سياسات

اعتماد دواء في أفريقيا

اعتمدت السلطات في جمهورية الكونغو الديمقراطية، في الثلاثين من يناير الماضي، أول علاج فموي لداء النوم، ممهِّدة بذلك الطريق لترخيص الدواء في أماكن أخرى في أفريقيا. يتسبب داء النوم - الذي يُعرَف أيضًا باسم داء المثقبيات الأفريقي البشري - في حدوث ذهان واختلال شديد في أنماط النوم، وعادةً ما يؤدي إلى الوفاة في حال عدم علاجه. يُذكر أن منظمة الصحة العالمية سجلت في عام 2017 ما يقرب من 1,500 حالة إصابة بهذا المرض المتوطن في الدول الأفريقية جنوب الصحراء الكبرى. يتميز الدواء الفموي «فيكسينيدازول» بسهولة استخدامه، مقارنةً بالعلاجات السابقة، التي كانت تتطلب إعطاء المريض إما 14 أو 56 حَقْنة وريدية. وتبرز أهمية هذه الميزة بشكل خاص في المناطق الفقيرة، والمناطق التي تسودها الصراعات. وقد أوصت وكالة الأدوية الأوروبية باستخدام فيكسينيدازول، الذي طورته مبادرة «أدوية للأمراض المُهمَلة» في جنيف بسويسرا، وشركة «سانوفي» Sanofi للأدوية في باريس في نوفمبر من عام 2018. وتتطلع منظمة الصحة العالمية إلى القضاء على داء النوم بحلول عام 2020.

تعهُّد ترامب

تعهّد الرئيس دونالد ترامب، أثناء خطاب حالة الاتحاد، الذي ألقاه في الخامس من فبراير الماضي، بالقضاء على وباء فيروس نقص المناعة البشرية HIV في الولايات المتحدة بحلول عام 2030. كان مسؤولون في وزارة الصحة والخدمات الإنسانية بالولايات المتحدة قد أعلنوا، في السادس من يناير، عن استراتيجية للحدّ من الإصابات الجديدة بفيروس نقص المناعة البشرية بنسبة 75% في غضون خمسة أعوام، وبنسبة 90% على الأقل في غضون عشرة أعوام. وتتضمن الخطة كبح جماح معدل الإصابات الجديدة، من خلال إجراء اختبارات منتظمة للأشخاص المعرضين بدرجة كبيرة للإصابة بالفيروس، وإعطائهم أدوية تُدعى PrEP؛ للوقاية من الإصابة، وكذلك البدء في إعطاء المرضى أدوية مثبطة للفيروس، بعد تشخيص إصابتهم بالمرض مباشرةً. وتتضمن الفئات المعرضة لخطر الإصابة بالفيروس الرجال الذين يمارسون الجنس مع الرجال، وكذلك الأشخاص المحوَّلين جنسيًّا، والأمريكيين من أصول أفريقية. وقد رحب العديد من الباحثين بهدف الرئيس، إلا أنهم يشككون في قدرة إدارته على تحقيق تواصل فعال مع المجتمعات التي سبق لهذه الإدارة أن أسهمت في تهميشها.



UESLEI MARCELINO/REUTERS

الأعوام الخمسة الماضية تشهد أعلى درجات حرارة

مَثَّل متوسط درجات الحرارة العالمية لعام 2018 رابع أعلى متوسط جرى تسجيله، وفقًا لتحليلين منفصلين صدرا في السادس من فبراير الماضي عن وكالة ناسا، والإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي في الولايات المتحدة (NOAA). أكَّد التحليلان نتائج مشابهة، توصل إليها كل من مكتب الأرصاد الجوية بالمملكة المتحدة، والمنظمة العالمية للأرصاد الجوية. وذكرت وكالة ناسا أن متوسط درجات الحرارة كان 0.83 درجة مئوية فوق متوسط درجات الحرارة في الفترة بين عامي 1951، و1980. وتُصَنَّف الأعوام منذ عام 2014 حتى عام 2018 بأنها أدفأ خمسة أعوام مسجَّلة، وحلَّت تسعة أعوام، من بين الأعوام العشرة الأعلى من حيث درجات الحرارة خلال الـ140 عامًا تقريبًا التي جرى تسجيلها، في الفترة منذ عام 2005. كما ذكرت الإدارة الوطنية للمحيطات والغلاف الجوي أن متوسط امتداد الجليد في القطبين الشمالي والجنوبي لعام 2018 كان ثاني أقل امتداد منذ بدء حفظ السجلات في عام 1979.

شخصيات

الطوَّافة «روزاليند»

ستُسَمَّى طوَّافة أوروبية مصمَّمة لكوكب المريخ، ومن المقرر لها أن تتجه إلى الكوكب الأحمر في عام 2020، باسم العالمة البريطانية الرائدة في أبحاث الحمض النووي روزاليند فرانكلين (في الصورة). تم اختيار اسم فرانكلين من قِبل لجنة، بعد أن أُجريت مسابقة عامة تلقَّت أكثر من 35 ألف اقتراح. سوف

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

UIG VIA GETTY

تنطلق الطوّافة إلى المريخ ضمن بعثة «إكسومارس 2020» ExoMars 2020، وهي بعثة أوروبية روسية، مِن المقرر لها أن تقوم بالبحث عن أمارات للحياة. وسوف تهبط الطوافة في منطقة «أوكسيا بلانوم» Oxia Planum، التي يُعتَقَد أنها كانت مملوءة بالمياه في يوم ما، وستكون الطوّافة أول طوافة مريخية تحفر حتى عمق مترين أسفل سطح الكوكب؛ بحثًا عن علامات للحياة. يُذكر أن فرانكلين كانت عضوًا فعالًا في الفريق الذي اكتشف بِنْية الحلزون المزدوج الخاصة بالحمض النووي في خمسينيات القرن الماضي، وذلك باستخدام علم دراسة البلورات بالأشعة السينية، بيد أن إسهامها أُغْفِل لفترة طويلة. وتوفيت فرانكلين في عام 1958 عن عمر ناهز 38 عامًا.



طاقة

التخلي عن طاقة الفحم

ستتوقف ألمانيا عن توليد الطاقة باستخدام الفحم في غضون عشرين عامًا، وذلك وفقًا لما قالته لجنة معينة من قِبَل الحكومة في تقرير صدر في السادس والعشرين من يناير الماضي. وعلى الرغم من الجهود المدعومة ماليًّا بقوة لإحداث تحول إلى مصادر الطاقة المتجددة، لا تزال محطات توليد الطاقة التي تعمل بالفحم تنتج حوالي 40% من الكهرباء في ألمانيا. ويشكل اعتماد ألمانيا على الفحم العقبة الأساسية أمام تحقيقها لهدفها، المتمثل في خفض انبعاثات غازات الدفيئة بنسبة 55% تحت مستويات عام 1990 بحلول عام 2030. يقترح التقرير خفض قدرة التوليد في محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم في البلاد - البالغ عددها 84 محطة - بمقدار الثلث بحلول عام 2022. ويقترح كذلك إغلاقًا تدريجيًّا لجميع محطات توليد الطاقة العاملة بالفحم حتى حلول عام 2038. ومن المتوقع أن تعتمد الحكومة هذه التوصيات، وقد تستمر ألمانيا في إنتاج الكهرباء، اعتمادًا على الغاز الطبيعي الذي يحتوي على كميات قليلة نسبيًّا من الكربون، وكذلك اعتمادًا على مصادر الطاقة المتجددة، فيما عدا الطاقة النووية، التي يتم الاعتماد عليها حاليًّا لتوفير 12% تقريبًا من إمداد الكهرباء، إلا أنها ستُلغَى تدريجيًّا بحلول 2022.

تمويل

مخاوف بشأن «هواوي»

ستتوقف جامعة أوكسفورد بالمملكة المتحدة عن السعي للحصول على تمويل بحثي من شركة الاتصالات الصينية «هواوي» Huawei، في ضوء "مخاوف الرأي العام المتصاعدة" في الأشهر الأخيرة، حول شراكات المملكة المتحدة" مع الشركة، وذلك وفقًا لتصريحات الجامعة. ويُذكر أنه منذ أواخر عام 2018، تخضع شركة «هواوي» - التي يقع مقرها الرئيس في شينجين - لرقابة شديدة متزايدة من قِبَل حكومات دولية؛ بسبب مخاوف أمنية تتعلق بأجهزتها، وتورطها في شبكات اتصالات وطنية. وأفادت جريدة «ذي تايمز» *The Times* في ديسمبر الماضي بأن وزير الدفاع البريطاني، جافين ويليامسون، كان قد أعرب عن "قلقه البالغ" من مشاركة شركة «هواوي» في تحديث شبكة الهواتف المحمولة في البلاد. وفي شهر نوفمبر الماضي، حذرت لجنة المراجعة الاقتصادية والأمنية الأمريكية الصينية - التي أنشأها الكونجرس الأمريكي - من أن التأثير القوي للحكومة الصينية على الشركات الصينية يعني أنها قد تُرْغِم الشركات على تعديل المنتجات، بحيث تتعطل، أو تسهِّل التجسس الصناعي، أو اختراق سرية المعدات. هذا، ولم تستجب شركة «هواوي» لطلبات قدمتها دورية *Nature* إليها بالتعليق على الأمر. ويُذكر أن جامعة أوكسفورد تتلقّى حاليًّا مبلغ 692 ألف جنيه إسترليني (890 ألف دولار أمريكي) من «هواوي»؛ لتمويل مشروعين بحثيين قائمين، وسيظل هذا التمويل قائمًا. وقالت الجامعة إنها ستُبْقِي قرار حظر التمويل قيد المراجعة.

البيئة

مخاطر عالمية

تصدرت المخاوف البيئية والصحية الرسوم البيانية الخاصة بالمخاطر التي سيواجهها العالَم خلال العام الحالي (2019). ففي تقرير صدر في السادس عشر من يناير الماضي، وضع المنتدى الاقتصادي العالمي ظواهر المناخ المتطرفة (مثل موجات الاحترار، والفيضانات) على رأس قائمته للمخاطر العالمية لهذا العام. وجاء إخفاق المجتمعات الحضرية في التأقلم مع تأثيرات التغير المناخي، أو كبحها، في المرتبة الثانية. وأدرجت منظمة الصحة العالمية التردد عند تلقي التطعيم، أو رفضه، في قائمتها لأكثر عشرة مخاطر على الصحة. وحظيت الحصبة باهتمام خاص؛ نظرًا إلى زيادة حالات الإصابة بنسبة 30% في الفترة بين عامي 2016، و2017 على الصعيد العالمي. وشهدت مناطق؛ منها الأمريكتان وأوروبا، أعلى معدلات لعودة انتشار المرض في عام 2017. ويعود السبب في ذلك - بنسبة كبيرة - إلى الآراء الرافضة للتطعيمات، وذلك وفقًا لما ذكرته منظمة الصحة العالمية.

مراقبة الاتجاهات

حوالي 43% من النساء اللاتي يعملن في وظائف بدوام كامل في مجال العلوم، ويُصبحن أمهات، يتركن أعمالهن، أو يعملن بدوام جزئي بعد ولادة الطفل الأول. وفي المقابل، يترك 23% فقط من الآباء الجدد وظائفهم، أو يقللون من عدد ساعات العمل، وذلك وفقًا لدراسة حول تأثير الأبوة والأمومة على المسارات المهنية في الولايات المتحدة. استعانت الدراسة التي قادتها إيرين تسيخ، عالمة الاجتماع بجامعة ميشيجان في آن آربور، ببيانات من المؤسسة الوطنية للعلوم بالولايات المتحدة لفحص معلومات حول العمالة ونفقات الأسر المعيشية. انتقى الفريق من مجموعة بيانات عام 2003 العلماء الذين ليس لديهم أطفال، ويعملون بدوام كامل، وتتبَّعوا وضعهم العائلي في المرحلة التالية من الدراسة الاستقصائية. قارن الباحثون بين مجموعتين من العلماء في هذه المجموعة المتجانسة؛ 841 عالِمًا صار لديهم أطفال، و3,365 عالِمًا ظلوا دون أبناء طوال فترة الدراسة التي استمرت حتى 2010. أفاد مؤلفو الدراسة بأن الآباء الجدد كانوا أكثر احتمالًا، بكثير، لأنْ يتركوا وظائفهم العلمية ذات الدوام الكامل، مقارنةً بزملائهم الذين ليس لديهم أبناء. وبحلول عام 2010، كان 16% فقط من الرجال الذين ليس لديهم أطفال، و24% من النساء اللاتي ليس لديهن أطفال قد تركوا وظائفهم ذات الدوام الكامل في مجال العلوم، وذلك وفقًا لتوقعات توصّل إليها الباحثون من البيانات، عندما استخدموا مجموعات ضابطة؛ لتقليل تأثيرات العوامل المسببة للإرباك.

الآباء في العلم

تُظهِر دراسة أمريكية أُجريت على مدار ثمانية أعوام على 841 عالِمًا صاروا آباءً جددًا في الفترة بين عامي 2003، و2006 أن عددًا أكبر من الأمهات – مقارنةً بعدد الآباء – تركن وظائفهن ذات الدوام الكامل في مجالات العلوم، والتكنولوجيا، والهندسة، والرياضيات (STEM).

أمهات
آباء
%100
%50
%0
بقوا يعملون بدوام كامل في مجالات العلوم، والتكنولوجيا، والهندسة، والرياضيات
انتقلوا للعمل بدوام جزئي في مجالات العلوم، والتكنولوجيا، والهندسة، والرياضيات
انتقلوا للعمل في مجالات أخرى غير مجالات العلوم، والتكنولوجيا، والهندسة، والرياضيات
تركوا العمل كليًّا

SOURCE: ERIN A. CECH *ET AL. PROC. NATL ACAD. SCI. USA* HTTPS://DOI.ORG/10.1073/PNAS.1810862116 (2019).

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

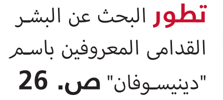
أخبـــار في دائرة الضـوء

علـم الفلـك تصوير أبْعَد جرم مُكتَشَـف على الإطـلاق في النظام الشمسي **ص. 22**

الأمن الحيوي تعلم الآلة قد يمنع الإرهاب البيولوجي من استغلال الأحماض النووية **ص. 23**

الفضاء مسبار صيني يصل إلى الجانب البعيد من القمر قد يكشف لنا لغزه **ص. 25**





تطور البحث عن البشـر القدامى المعروفين باسـم "دينيسـوفان" **ص. 26**

THE ASAHI SHIMBUN VIA GETTY

كاشف كاميوكا الياباني لموجات الجاذبية، وهو كاشف من المقرر أن يبدأ تشغيله خلال العام الحالي (2019)؛ لينضم إلى شبكة عالمية من مقاييس التداخل.

الفيزياء

اليابان تبدأ تجربة رياديّة في البحث عن موجات الجاذبية

سينشر الكاشف «كاجرا» KAGRA - الموجود تحت الأرض - تقنية طموحة لعمليات رصد أكثر دقة.

دافيديه كاستيلفيكي

داخل هيكل بحجم منزل، مُشيَّد من السقالات المغلفة بأغطية بلاستيكية سميكة، يقف تاكايوكي تومارو مرتديًا زيًّا كاملًا من أزياء المختبرات النظيفة (المضبطة درجة نقاوة هوائها). كان عالِم الفيزياء تومارو – الذي يعمل في منظمة بحوث المسرّعات عالية الطاقة (KEK) في تسوكوبا باليابان – يؤدي مهمة من أكثر المهام حساسية وأهمية في عملية لإنشاء مرصد لموجات الجاذبية؛ ألا وهي تثبيت إحدى المرايا الأربع الخاصة بهذه الآلة. وكل مرآة هي بمثابة أسطوانة، تزن 23 كيلوجرامًا، من الياقوت الأزرق الصلب، تُعرف باسم كتلة الاختبار. عندما تبدأ عمليات المرصد في وقت لاحق من العام الجاري، ستكون مهمة هذه المرايا هي عكس أحزمة الأشعة تحت الحمراء الليزرية ذهابًا وإيابًا على طول اثنين من الأنابيب عالية التفريغ (طول الأنبوب الواحد منهما ثلاثة كيلومترات)؛ استعدادًا لاستشعار مرور موجات الجاذبية (انظر: "صائد الموجات الياباني").

هذا المرصد الياباني – الذي يُطلق عليه كاشف كاميوكا لموجات الجاذبية (أو كاجرا اختصارًا)، والذي تبلغ تكلفته 16.4 مليار ين ياباني (148 مليون دولار أمريكي) – من المقرر أن يبدأ العمل وفقًا للمبدأ نفسه القائم عليه عمل الكاشفين التابعين لمرصد قياس تداخل موجات الجاذبية بالليزر «ليجو» LIGO في الولايات المتحدة، وكاشف «فيرجو» Virgo في إيطاليا. وخلال الأعوام القليلة الماضية، بدأ هذان الجهازان في الكشف عن موجات الجاذبية، التي طالما جرى البحث عنها في نسيج الزمان والمكان، والتي تنشأ عن أحداث كونية عنيفة، مثل اندماج اثنين من الثقوب السوداء، أو ◄

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

اصطدام نجمين نيوترونيين ببعضهما بعضًا.

والآن، بعد إضافة الكاشف «كاجرا» إلى هذه الكواشف، فإن شبكة الكواشف العالمية المتنامية تلك ستساعد علماء الفيزياء الفلكية في تحديد مواقع هذه الإشارات الكونية الواهنة في السماء بدقة أكبر بكثير، وسيكون العلماء قادرين بشكل أفضل من أي وقت مضى على تحليل خصائص هذه الموجات، مثل التوجه الذي تسلكه في الفضاء، وهو ما سيؤدي في النهاية إلى الكشف عن المزيد فيما يخص الأجسام الكونية العصية على الفهم، التي تنتج هذه الموجات.

إنّ «كاجرا» لن يكون مجرد كاشف آخر، مثله مثل غيره، فقد يتبين أنه منصة اختبار مهمة للكواشف المستقبلية. يقول رينر وايس، عالِم الفيزياء بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا في كامبريدج، وهو عالِم شارك في تأسيس مرصد «ليجو»: "سيُجري «كاجرا» اختبارات لاثنين من المفاهيم، قد تثبت أهميتهما لمستقبل علم الفلك المتعلق بموجات الجاذبية".

تتمثل إحدى الخصائص المبتكرة في «كاجرا» في أنه أول مقياس كبير للتداخل يُشيد تحت الأرض؛ إذ يمتد ذراعا «كاجرا» داخل نفقين تحت جبل إيكينويايا بالقرب من الساحل الشمالي لليابان. وفي ذلك، يقول تاكاكي كاجيتا عالِم الفيزياء بجامعة طوكيو، والباحث الرئيس في مشروع «كاجرا»: "نعتقد أن هذه تُعد ميزة، لأن الضجيج الزلزالي يكون عادةً أقل بقيمتين أُسّيتين تحت الأرض".

وفي حين أن مرايا مرصدي «ليجو»، و«فيرجو» تعمل في درجة حرارة الغرفة، سيتم حفظ مرايا مرصد «كاجرا» تحت برودة شديدة عند 20 درجة كلفن، لتقليل الضجيج الناجم عن الاهتزازات الحرارية.

وإذا ما أدى «كاجرا» وظيفته كما هو مخطط له، فعندها سيكون بوسعه أن يقدم لنا معارف بالغة الأهمية في هذا المجال. إن استخدام فيزياء درجات الحرارة المنخفضة – بوجه خاص – قد يكون ضروريًّا، إذا ما أردنا للكاشفات المستقبلية أن تتيح دقة مُحسَّنة بشكل كبير، وذلك وفقًا لديفيد شوميكر عالم الفيزياء بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، والمتحدث الرسمي باسم مرصد «ليجو».

أعمال قيد التنفيذ

كانت اليابان من أوائل البلدان التي خاضت سباق الكشف عن موجات الجاذبية، وهي الموجات التي تنبأ بوجودها ألبرت آينشتاين منذ أكثر من قرن؛ ففي أوائل تسعينيات القرن الماضي، بنى باحثون في جامعة طوكيو نماذج أولية لمقاييس التداخل، بعد بحوث أجراها علماء الفيزياء في الولايات المتحدة، والمملكة المتحدة، وألمانيا. وفي عام 1998، عندما بدأ تشغيل جهاز «تاما» TAMA – وهو جهاز ذو أذرع، يبلغ طول الذراع الواحد منها 300 متر– كان الجهاز أكبر الكواشف الأولية، وأكثرها دقة في العالم، وذلك على حد قول عالِم الفيزياء رافاييل فلامينيو، الذي عمل لعدة أعوام كباحث رائد في مشروع الكاشف «كاجرا» لدى المرصد الفلكي الوطني باليابان، غير أن الجهاز «تاما» لم يكن متوقعًا له أن يسفر عن اكتشافات. يرجع هذا إلى أن موجات الجاذبية تعمل على تمدد أبعاد الفضاء. ويمكن ملاحظة تأثيرات هذه الموجات بشكل أفضل على مدى مسافات طويلة، وهو ما يجعل الكواشف الأصغر حجمًا قاصرة. وبالإضافة إلى هذا، يوضح كاجيتا أن الاهتزازات الناجمة عن النشاط البشري تسببت في إضعاف فرص جهاز «تاما» الموجود في طوكيو في النجاح.

في تسعينيات القرن الماضي، حصل الباحثون في أوروبا والولايات المتحدة على تمويل لبناء مرصد «ليجو»، وهذا المرصد يتألف من اثنين من مقاييس التداخل – طول المقياس الواحد منهما أربعة كيلومترات – في ولايتي واشنطن، ولويزيانا. أمَّن هؤلاء الباحثون كذلك تمويلًا؛ لبناء مرصد «فيرجو»، البالغ طوله ثلاثة كيلومترات، لكنّ علماء الفيزياء اليابانيين خاضوا صراعًا صعبًا من أجل الحصول على التمويل. وجاءت عقبة أخرى في عام 2001، عندما تسبب حادث خطير ومكلف في «سوبر-كاميوكاندي» Super-Kamiokande – وهو مرصد ضخم للنيوترينوات، يقع بدوره تحت جبل إيكينويايا – في جعل الحكومة اليابانية حذرة بشأن تمويل المشروعات العلمية الكبرى.

وبالرغم من ذلك، ظل الباحثون اليابانيون يعملون على تطوير أجهزة قياس التداخل، متبعين في ذلك مقاربة المرايا الباردة. وفي عام 2006، بدأ تشغيل مرصد مقياس التداخل الذي يستخدم الليزر والتبريد الفائق «كليو» CLIO داخل نفق في كاميوكا. ويقول كاجيتا إن النموذج الأوَّلي - البالغ طوله 100 متر - كان أول جهاز استُخدِمت فيه المرايا المبرَّدة بفيزياء درجات الحرارة المنخفضة، واستغرق إنجازه بشكل متقن عقدين من الزمان. ويرجع ذلك في جزء كبير منه إلى أن التبريد باستخدام فيزياء درجات الحرارة المنخفضة يمثل مشكلة محيرة لعلم موجات الجاذبية. ويقول كاجيتا: "إن المبردات أشياء ميكانيكية"، وبالتالي فهي تنتج تذبذبات خاصة بها. وقد اضطر الباحثون إلى العمل على الوصول إلى طريقة، يتم من خلالها الإبقاء على تلامس المبردات مع أدوات التعليق الخاصة بالمرايا، حتى يتمكنوا من المحافظة على برودة المرايا، مع عدم السماح لتذبذبات المبردات بالتسلل في الاتجاه المعاكس.

"إن المهمة التي حققها «كاجرا» كانت مهيبة، لكنها اتسمت كذلك بجرأة طابعها".

مع اقتراب نهاية هذا العقد، تحسنت فجأةً فرص التوصُّل إلى إنشاء كاشف كبير لموجات الجاذبية بقيادة يابانية، وذلك عندما تدخل كاجيتا في المشهد لدعم هذا المشروع. سبق لكاجيتا قيادة عمليات مرصد «سوبر-كاميوكاندي»، الذي أُعيد بناؤه، والتي أحرزت إنجازات كبيرة في علم النيوترينوات. وقد أضفى كاجيتا مصداقية لمشروع «كاجرا»، باعتباره شخصًا يعرف كيف يدير مشروعًا علميًّا كبيرًا. يقول شينجي ميوكي - عالِم الفيزياء بجامعة طوكيو - إن كاجيتا اضطلع بدور مشابه للدور الذي قام به في «ليجو» باري باريش، عالِم الفيزياء بمعهد كاليفورنيا للتكنولوجيا في باسادينا.

في عام 2010، وافق البرلمان الياباني على تمويل المشروع الذي ضم أيضًا شركاء ممولين، من بينهم: كوريا الجنوبية، وتايوان. إن اسم "كاجرا" – الذي تم اختياره من بين 600 اقتراح طرحه الجمهور– يحمل كذلك إشارة إلى رقصة الكاجورا، وهي رقصة للآلهة، تُعَد جزءًا من تقاليد الشينتو القديمة في اليابان، وذلك على حد قول ميوكي، الذي شارك بمشروعي «تاما»، و«كليو»، وله الآن دور رائد في مشروع «كاجرا».

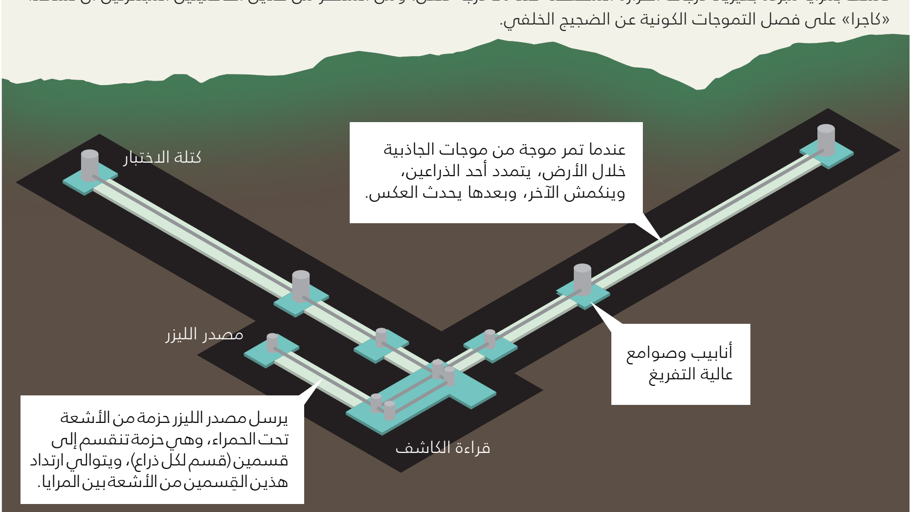
مشكلة بشأن الموقع

بدأت أعمال إنشاء «كاجرا» في عام 2012. وفي أقل من عامين، تم حفر أنفاق «كاجرا»، التي يبلغ طولها 6 كيلومترات.

غير أن موقع المشروع كان يمثل بدوره مشكلة؛ فصخور الجبل مسامية، ومتشبعة بالمياه. تسترجع كيكو كوكياما - عالمة الفيزياء بمشروع «كاجرا» - ذكريات زيارتها للموقع في عام 2014، عندما كانت تعمل على مشروع «ليجو» لدى معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا. وتقول كوكياما التي تشرف على مصدر الليزر الخاص بمقياس التداخل، إلى جانب اضطلاعها بأدوار أخرى : "كان هطل مطر شديد داخل النفق"، وأضافت أن الأرضية كانت مغطاة بالطين. وقد تطلَّب الإبقاء على جفاف الأنفاق إضافة طبقة تبطين أخرى.

في كل ربيع، عندما يذوب الجليد فوق الأرض، يسحب نظام الصرف الخاص بالأنفاق ما يصل إلى 1000 طن من المياه كل ساعة. ويوضح كاجيتا أن هذا قد يعني ضرورة تحديد فترات لإغلاق مشروع «كاجرا» كل عام خلال الأشهر التي تشهد أعلى معدلات الأمطار. ويتابع كاجيتا قائلًا: "أعتقد أنه من غير الواقعي أن يستمر العمل في ظل هذه الظروف".

ويأمل الفريق أن يكون الكاشف جاهزًا للعمل قبل نهاية عام 2019؛ فهذا التوقيت سوف يكون ملائمًا للانضمام إلى دورة رصد سوف تستمر على مدار عام، وهي دورة مِن المقرر لمرصدي «ليجو»، و«فيرجو» بدؤها في شهر مارس. عندما يبدأ «كاجرا» في العمل، سيكون هذا في خضم ترقب من المجتمع العلمي المتخصص في موجات الجاذبية حول العالم. وفي مشروع «ليجو»، يجري تخطيط إضافة تحديث للمشروع، يُدعى «ليجو فوياجر» LIGO Voyager، وهو تحديث سيتضمن مرايا باردة أيضًا، ولكنها لن تكون بدرجة برودة مرايا مشروع «كاجرا». ويعمل المجتمع العلمي



صائد الموجات الياباني

يُعتبر كاشف كاميوكا الياباني لموجات الجاذبية «كاجرا» رابع الكواشف الرئيسة لموجات الجاذبية على مستوى العالم، والأول من نوعه في آسيا. ومن المقرر افتتاح هذا الكاشف في أواخر العام الحالي (2019). وهو أول كاشف يتم بناؤه تحت الأرض، وأول كاشف بمرايا مبرَّدة بفيزياء درجات الحرارة المنخفضة عند 20 درجة كلفن. ومن المنتظر من هذين الخاصيتين المبتكرتين أن تساعدا «كاجرا» على فصل التموجات الكونية عن الضجيج الخلفي.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

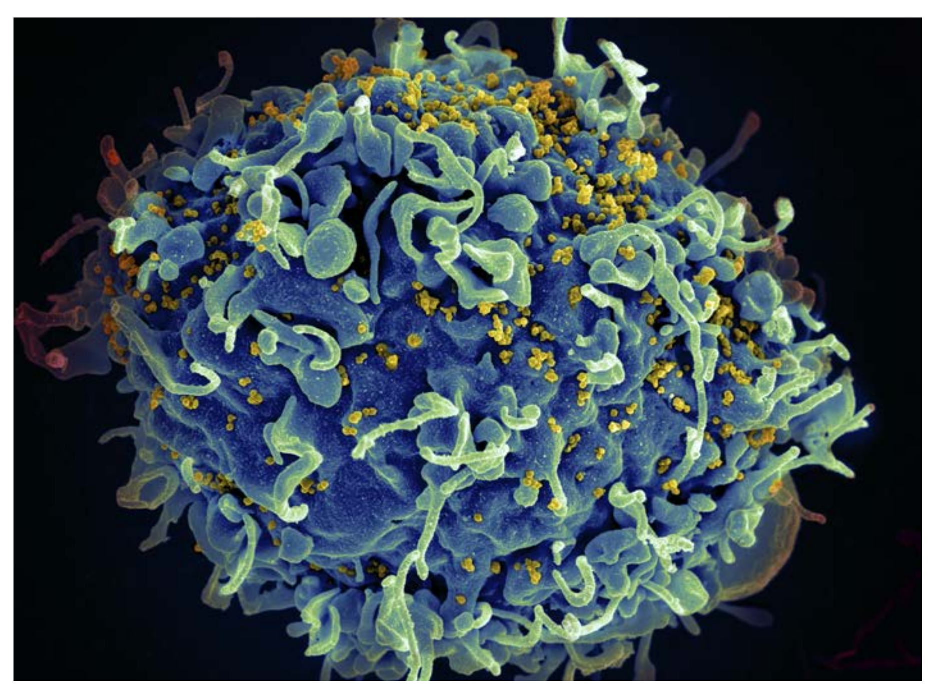
الأمريكي على تصميم آلة للتبريد الفائق، طولها 40 كيلومترًا، تسمَّى «كوزميك إكسبلورر» Cosmic Explorer. وفي هذه الأثناء، يتطلع الباحثون في أوروبا إلى بناء مرصد يُدعى «تليسكوب آينشتاين» Einstein Telescope، وهو تليسكوب سيكون على شكل مثلث، يبلغ طول أضلاعه 10 كيلومترات، ومن المقرر له أن يعمل بالتبريد الفائق، وتحت الأرض. يقول كاجيتا: "أعتقد أن الناس سيتعلمون من «كاجرا»".

يقول شوميكر: "إن المهمة التي حققها «كاجرا» كانت مهيبة، لكنها اتسمت كذلك بجرأة طابعها؛ وهي السعي وراء تحقيق العديد من الأهداف التي نعتقد أننا في حاجة إليها فيما يتعلق بالكواشف المستقبلية. إن خوض هذه التجربة من شأنه أن يساعدنا بشكل هائل". ■

خلايا جذعية

تحرُّر ثاني حالة من فيروس نقص المناعة البشرية بعد علاج بالخلايا الجذعية

إنجاز مهم يشير إلى أنّ نجاح أول حالة لم يكن مجرد نجاح عابر، وقد يمهد الطريق لعلاجات مستقبلية.



NIH/SPL

فيروس نقص المناعة البشرية (الأصفر) يصيب خلية مناعية بشرية (الأزرق) بالعدوى.

ماثيو وورن

يبدو أن شخصًا مصابًا بفيروس نقص المناعة البشرية قد أصبح الآن خاليًا من هذا الفيروس، وذلك بعد أنْ أُجريت له عملية زَرْع خلايا جذعية، حلّت عن طريقها خلايا دموية بيضاء مقاوِمة لفيروس نقص المناعة البشرية محل خلايا دمه البيضاء. يُعتبر هذا المريض هو ثاني شخص يُعلَن عن خلوّه من الفيروس، نتيجة تطبيق هذا النهج العلاجي عليه، لكنّ الباحثين يحذِّرون من التعجل بالقول إنهما قد شُفيا منه بالفعل.

وتمكّن المريض - الذي لم يُكشَف عن هويته - من التوقف عن تناول الأدوية المضادة للفيروسات القهقرية، دون ملاحظة أي علامة على عودة الفيروس مرة أخرى، بعد مرور 18 شهرًا على ذلك. ويُذكر أن تقنية الخلايا الجذعية كانت قد استُخدمت لأول مرة منذ عقد من الزمن في علاج تيموثي راي براون، المعروف باسم "مريض برلين"، الذي ما زال خاليًا من الفيروس حتى الآن.

كيف تهزم فيروس نقص المناعة البشرية

حتى الآن، لُوحظ أنّ آخِر مريض تلقّى هذا العلاج قد أبدى استجابة مشابِهة لاستجابة براون، حسبما يقول أندرو فريدمان، طبيب الأمراض المعدية الإكلينيكية في جامعة «كارديف» في المملكة المتحدة، الذي لم يكن مشاركًا في الدراسة. ويتابع بقوله: "هناك سبب وجيه للأمل الذي يحدونا في أنْ ينتهي الأمر بالنتيجة نفسها".

لقد عانى المريض الأخير - مثل براون - من نوع من سرطان دمٍ لم يستجب للعلاج الكيميائي. واحتاج كلاهما إلى عملية زرع نخاع عظمي، التي يجري فيها تدمير خلايا الدم، وتُوضع مكانها خلايا جذعية منقولة من متبرع سليم.

وبدلًا من اختيار أيّ مانح مناسب، اختار الفريق المعالج - الذي يقوده رافيندرا جوبتا، طبيب الأمراض المُعْدِية في جامعة كِمبريدج بالمملكة المتحدة - متبرعًا يحمل نسختين من طفرة في الجين *CCR5*؛ مما يمنح حامله مقاوَمة لعدوى فيروس نقص المناعة البشرية.

يُرمِّز هذا الجين أحد المستقبِلات الذي يقع على سطح خلايا الدم البيضاء المشارِكة في الاستجابة المناعية للجسم.

وفي الأحوال الطبيعية، يرتبط فيروس نقص المناعة البشرية بهذه المستقبِلات، ويهاجم الخلايا، لكنّ حَذْفًا بعينه في الجين *CCR5* يوقِف المستقبِلات عن العمل كما ينبغي. ويُذكر أنّ حوالي 1% من الأشخاص المنحدرين من أصول أوروبية يحملون نسختين من هذه الطفرة، مما يجعلهم مقاوِمون للإصابة بعدوى فيروس نقص المناعة البشرية.

يصف فريق جوبتا النتائج في ورقة بحثية نُشرت في دورية *Nature* في الخامس من مارس الماضي. وأفاد الباحثون أن المستزرعات قد نجحت في وضع نوع من خلايا الدم البيضاء المقاوِمة لفيروس نقص المناعة البشرية محل خلايا الدم البيضاء الخاصة بالمريض. توقفّت الخلايا الجوّالة في دم المريض عن التعبير الجيني لمستقبِلات CCR5. وفي المختبر، لم يستطع الباحثون إعادة إصابة هذه الخلايا بالعدوى بنسخة المريض من فيروس نقص المناعة البشرية.

وجد الفريق أن الفيروس قد اختفى تمامًا من دم المريض بعد عملية الزرع. وبعد 16 شهرًا، توقف المريض عن تناول الأدوية المضادة للفيروسات القهقرية، تلك الأدوية التي تُعتبر العلاج المعياري لفيروس نقص المناعة البشرية. وفي آخِر متابعة للمريض، بعد 18 شهرًا من تَوَقُّفه عن تناول الدواء، لم تكن هناك أي علامة على وجود الفيروس في دمه.

علاج عنيف

يقول جوبتا إنه ليس من الممكن بَعْدُ القول إنّ المريض قد شُفيَ تمامًا، مضيفًا أن هذا يمكن إثباته فقط، إذا بقي دم المريض خاليًا من فيروس نقص المناعة البشرية لمدة أطول.

لكن الدراسة تشير بالفعل إلى أن علاج براون الناجح - قبل عشر سنوات - لم يكن مجرد علاج نجح مرة واحدة فحسب. يقول جوبتا إنّ المريض الأخير قد تلقّى علاجًا أقل حدة من علاج براون، استعدادًا لعملية الزرع، حيث أُعطي المريضُ الجديد نظامًا علاجيًّا يتكون من علاج كيميائي، إلى جانب عقار آخر يستهدف الخلايا السرطانية، في حين تلقّى براون علاجًا إشعاعيًّا على جسمه كله، بالإضافة إلى العلاج الكيميائي.

يشير هذا إلى أن نجاح عملية زرع الخلايا الجذعية لدى مرضى فيروس نقص المناعة البشرية لا يحتاج بالضرورة إلى أنْ يترافق مع علاجات عنيفة، قد تكون - بصفة خاصة - ذات آثار جانبية شديدة، حسب قول جوبتا، الذي يضيف قائلًا: "الإشعاع يؤثر حقًّا على نخاع العظام، ويجعل المرضى يشعرون بإعياء شديد".

يشير جراهام كوك - الباحث الأكلينيكي في «إمبريال كوليدج لندن» - إلى أن هذا النوع من العلاج لن يكون مناسبًا لمعظم المصابين بفيروس نقص المناعة البشرية،

غير المصابين بالسرطان، ولا يحتاجون بالتالي إلى زرع نخاع العظم، الذي يعد إجراءً خطيرًا قد تكون له - في بعض الأحيان - مضاعفات مميتة.

يقول كوك: "إذا كان المريض بصحة جيدة، فإن مخاطر إجراء زرْع نخاع العظم تكون أكبر بكثير من مخاطر الاستمرار في تناول الأقراص كل يوم"، إذ يستجيب معظم المصابين بفيروس نقص المناعة البشرية - بشكل جيد - للعلاج اليومي بمضادات الفيروسات القهقرية.

ويستدرك كوك قائلًا إنه بالنسبة إلى أولئك الذين يحتاجون إلى عملية زرع نخاع العظم، لعلاج ابيضاض الدم (اللوكيميا)، أو علاج غيره من الأمراض، فإن محاولة العثور على متبرع يحمل طفرة *CCR5* تبدو إجراء منطقيًّا، الأمر الذي لن يضفي أيّ خطر آخَر على الإجراء.

يوافق جيرو هوتر - الذي أشرف على علاج براون، ويشغل الآن منصب المدير الطبي لشركة «Cellex» للخلايا الجذعية في درِسدِن، ألمانيا - على أن هذا النوع من العلاج لن يكون استعماله ممكنًا، إلا على مجموعة صغيرة فقط من المرضى، لكنه يأمل أن تحفز الورقة البحثية اهتمامًا متجددًا بالعلاجات الجينية، التي تستهدف جين *CCR5*، والتي يمكن تطبيقها على مجموعة أكبر بكثير. ويقول هوتر "هذا هو الإنجاز الحقيقي، الذي ما زلنا في انتظاره".■

علم الكواكب

عالَم ناءٍ على شكل رجل ثلج

أَبْعَد جرم مُكتَشَف على الإطلاق هو بقايا النظام الشمسي المبكر، وفقًا للصور الواردة من بعثة «نيو هورايزونز» الفضائية، التابعة لوكالة ناسا.

أليكساندرا فيتز

إنه رجل ثلج! كشف بعض أُولَى الصور الواردة من مركبة وكالة ناسا المحلِّقة بالقرب من أبعد عالَم زارته البشرية على الإطلاق - الصخرة الفضائية 2014 MU_{69} - أنه يتكون من فصين غير متماثلين.

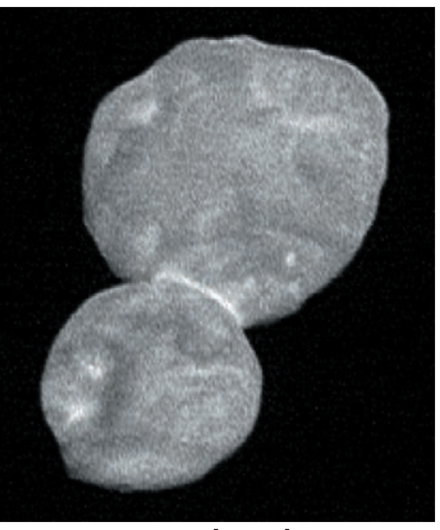
التقطت مركبة «نيو هورايزونز» الفضائية - التابعة لوكالة الفضاء ناسا - الصور المقربة للجرم MU_{69} في الأول من شهر يناير الماضي، قبل أن تنطلق على مسافة 3500 كيلومتر فقط فوق سطح الجرم. والصخرة هي بمثابة "ثنائي متصل"، تكونت بواسطة اندماج رقيق بين جرمين.

وتقول سارة هورست، عالمة الكواكب بجامعة جونز هوبكينز في بالتيمور بولاية ميريلاند: "إنه حقًّا رائع. كنت قلقة بعض الشيء، خشية أن يكون مملًّا، لكنه ليس كذلك".

تتكون الثنائيات المتصلة من جُرْمين في حجم متماثل تقريبًا، يستقر كل منهما على الآخر، ويكون ذلك - على الأرجح - بعد اندماجهما معًا برفق شديد. ومن المحتمل أن يكون المذَنّب 67P/ شوريوموف جيراسيمينكو، الذي يشبه البطة المطاطية، والذي اكتشفته مَركبة «روزيتا» Rosetta الفضائية - التابعة لوكالة الفضاء الأوروبية - في الفترة من 2014، حتى 2016، جرمًا ثنائيًّا متصلًا أيضًا.

يبلغ طول الجرم MU_{69}، 31 كيلومترًا، ويبلغ عرضه عند أوسع نطاق 19 كيلومترًا. وتتميز النقطة التي يلتقي عندها فَصّا الجرم بوجود طوق من مادة أبهت لونًا، مقارنة بباقي الصخرة الفضائية. وقد يشير ذلك إلى أن المادة في هذه النقطة تختلف في التركيب الكيميائي، أو في حجم الحبيبات، حيث إن الحبيبات الصغيرة تعكس الضوء بقدر أكبر من نظيراتها الكبيرة.

وتؤكد معطيات البيانات المُجمَّعة أثناء التحليق القريب أن لون الجرم MU_{69} بني مائل إلى الحمرة الداكنة، حسبما ظن العلماء. وتقول كارلي هويت - عالمة الكواكب بمعهد ثاوس ويست للأبحاث في بولدر بكولورادو، وواحدة من أعضاء الفريق - إنه من المحتمل أن يكون اللون ناتجًا من سطوع ضوء الشمس على سطحه الجليدي لمليارات السنين. وتعكس أكثر أجزاء سطحه سطوعًا حوالي 13% من ضوء الشمس، بينما تعكس أكثرها ظلامًا حوالي 6%؛ مما يجعل هذه الأجزاء داكنة، مثل تربة الأصيص.



الصخرة الفضائية مكوَّنة من فَصّين مختلفين.

ويقول جيف مور - عالِم جيولوجيا الكواكب بمركز "آمز" للأبحاث، التابع لوكالة ناسا في موفيت فيلد بكاليفورنيا - إن فريق «نيو هورايزونز» لم يرصد حتى الآن أي حفر اصطدام على سطح الجرم MU_{69}، إلا أن بعضًا منها قد يتضح في الصور الأعلى استبانة، التي يجري تحميلها إلى الأرض.

وبوقوعه على بعد 6.5 مليار كيلومتر من الأرض تقريبًا، يُعتبر MU_{69} أبعد هدف استكشفه العلماء في حزام كايبر، وهو نطاق من الصخور الفضائية التي تدور حول الشمس خلف كوكب نبتون. ويذكر أن مَركبة «نيو هورايزونز» زارت أول كوكب لها في حزام كايبر، وهو بلوتو، في شهر يوليو من عام 2015.

غير أن MU_{69} له خصوصيته، حيث إنه ينتمي إلى جزء ساكن من النظام الشمسي، يُعرف باسم «حزام كايبر الكلاسيكي البارد». ويعتقد العلماء أن الأجرام هناك كانت في حالة تجمد عميق منذ نشأة النظام الشمسي، منذ أكثر من 4.5 مليار سنة. وسوف تقدم البيانات الواردة من التحليق القريب من الجرم MU_{69} للعلماء النظرة الأكثر وضوحًا على هذه البقايا العتيقة لتكوُّن الكواكب.

وتقول ميكيلي بانيستر، عالمة فلك الكواكب من جامعة كوين في بلفاست بالمملكة المتحدة: "هذا ثنائي متصل مثالي، فمن بين مئات الآلاف من الأجرام الكلاسيكية الباردة هناك، يُعتبر هذا اختيارًا رائعًا".

ويقول مور إنّ فصّيه تكونا - على الأرجح - عندما التفت جسيمات صغيرة لا حصر لها معًا، وتكتلت مكوِّنةً أجسامًا أكبر، اندمج اثنان منها في النهاية، مكوِّنَين ما يراه العلماء اليوم، وإن "هذه هي وحدات البناء الأساسية الوحيدة المتبقية" من الكواكب، حسب قوله.

وحتى أثناء احتفال علماء «نيو هورايزونز» بأولى الصور المقربة للجرم، تعرضوا للانتقادات، نتيجة الاسم المستعار الذي أطلقوه على الصخرة، «أولتيما ثولي» Ultima Thule، الذي اختاره الفريق في شهر مارس من عام 2018، بعد مسابقة تسمية عامة.

وتعني عبارة «أولتيما ثولي» في اللغة اللاتينية: "ما وراء العالَم المعروف". وشاع اقتران هذا المسمى بالمنطقة القطبية الشمالية، وعمليات الاستكشاف، إلا أن النازيين أيضًا قد خصصوا العبارة لوصف الموطن الأسطوري للجنس الآري، حسبما أشارت مجلة «نيوزويك» في شهر مارس من عام 2018. وفي الأول من يناير الماضي، لفتت إعادة مشاركة هذه المقالة - عبر موقع «تويتر» - الأنظار إلى الارتباط بين هذه التسمية والنازية.

وعند سؤاله عن هذا الأمر، قال آلان ستيرن - الباحث الرئيس للبعثة الفضائية، وعالِم الكواكب بمؤسسة ساوث ويست للأبحاث - إن عبارة «أولتيما ثولي» قد استُخدمت لقرون، لوصف الأراضي النائية. وأضاف ستيرن قائلًا: "لهذا السبب.. وقع عليها الاختيار".

وعلى غرار معظم حكومة الولايات المتحدة، تبقى وكالة ناسا مغلقة، أثناء النزاع الجاري بين الكونجرس والرئيس الأمريكي دونالد ترامب، بشأن إنفاق الميزانية الفيدرالية، وسياسات الهجرة، لذا تولَّى مختبر الفيزياء التطبيقية بجامعة جونز هوبكينز في لوريل بولاية ميريلاند – حيث مقر التحكم في البعثة الفضائية - نَشْر الصور والبيانات العلمية للجمهور، إلى حين استئناف وكالة ناسا العمل. ■

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

الأمن البيولوجي

مساع للحيلولة دون وقوع الحمض النووي الخطير في أيدي الإرهابيين

يمكن لتعلم الآلة أن يساعد الشركات في تجنب صنع كائنات خطيرة حسب الطلب.

سارة ريردون

يدفع علماء الأحياء في جميع أنحاء العالم الأموال - بشكل منتظم – لشركات، من أجل تصنيع قصاصات من الحمض النووي؛ لاستخدامها في المختبرات، أو العيادات، ولكنْ على مدى سنوات، انتاب القلق خبراء الاستخبارات، والعلماء، على حد سواء، خشية استيلاء الإرهابيين البيولوجيين على مثل تلك الخدمات؛ لتصميم فيروسات، وسموم خطيرة، ربما بإجراء تغييرات طفيفة في أحد التسلسلات الجينية؛ للتهرب من المسح الأمني.

وحاليًّا، تعمل الحكومة الأمريكية على مساندة الجهود التي تَستخدِم تعلم الآلة؛ لتكشف ما إذا كان أحد تسلسلات الحمض النووي يرمّز جزءًا من مسبب مرضي خطير، أم لا. وبدأ الباحثون ممن يصممون مثل أدوات المسح هذه - المعتمِدة على الذكاء الاصطناعي - في تحقيق بعض التقدم، وقدمت عدة مجموعات نتائج أولية، في 31 يناير الماضي، في الاجتماع الخاص بتهديدات الأمن البيولوجي، بالجمعية الأمريكية لعلم الأحياء المجهرية، وتُعرف اختصارًا بـ(ASM)، في أرلينجتون بفرجينيا.

وقد تؤدي نتائجهم إلى تحسين فهْمنا عن كيفية إلحاق مسببات المرض الضرر بالجسم، فضلًا عن توفير سبل جديدة للعلماء؛ لربط تسلسلات الحمض النووي بوظائف حيوية محددة.

يقول عمر طباع مدير قسم التكنولوجيا الحيوية الحاسوبية في «باتيل»، شركة تطوير تكنولوجي بكولومبوس، بولاية أوهايو: "في الماضي، كنتَ تمسك بمسبِّب المرض، وتحبسه، وتضع جيشًا لحمايته، ويصبح كل شيء على ما يرام".

ويستدرك طباع بقوله إن انخفاض تكلفة تقنية هندسة الحمض النووي، وتراجع الصعوبات التي تواجه تلك العملية، قد غيّرا من طبيعة تهديدات الأمن البيولوجي.. فأي شخص يريد قطعة معينة من الحمض النووي، يمكنه أن يحصل على تسلسل من حروف، تُسمَّى «القواعد»، يتم تخليق كل قاعدة منها مقابل ثمن زهيد. وفي عام 2006، دفع صحفيون من صحيفة «الجارديان» *The Guardian* بالمملكة المتحدة - على سبيل التجربة - أموالًا لإحدى شركات تخليق الحمض النووي؛ لصناعة جزء من فيروس الجدري، الأمر الذي أثار دعوات إلى وضع تدابير أكثر صرامة للمسح الأمني.

وفي عام 2009، شكّلت مجموعة من أكبر شركات تخليق الحمض النووي ائتلافًا؛ لوضع إجراءات قياسية لفحص التسلسلات التي يقدمها عملاؤهم، بمقارنتها بقواعد البيانات الخاصة بمسببات الأمراض المعروفة. فإذا حذر الفحص الآلي من أحد التسلسلات، يمكن للشركة التحقق مما إذا كان العميل باحثًا شرعيًّا، أم لا، قبل تصنيع الحمض النووي.

غير أن البرامج الحالية ترصد فقط أجزاء التسلسلات التي تطابق تمامًا نظائرها من مسببات المرض المعروفة. ويمكن لإرهابي ماكر أن يخدع النظام، بتغيير بضع قواعد من حمض نووي خاص بفيروس أو جين مِن تلك التي تنتِج سمومًا، أو



ANNA SCHROLL/FOTOGLORIA/UIG VIA GETTY

تُحفظ مسببات الأمراض الخطيرة في مختبرات تخضع لحماية مشددة.

حتى بتصميم مسبِّب جديد كليًّا للمرض. ومما يزيد من تفاقم المشكلة أن قواعد البيانات ذاتها تشوبها أخطاء.

ومن هذا المنطلق، أطلقت الوكالة الأمريكية لاستخبارات مشروعات البحوث المتطورة في عام 2016 وتُعرف اختصارًا بـ(IARPA)، مبادرة لتصميم خوارزميات أفضل؛ للكشف عن التسلسلات التي تنطوي على خطورة محتملة. يقول مدير الوكالة، جون جولياس، إن خمس فرق من المجالين؛ الصناعي والأكاديمي تتنافس في إطار هذا البرنامج. ورفضت الوكالة الإفصاح عن ميزانية البرنامج.

سباق الحمض النووي

من المتوقع، بحلول عام 2020، أن تكون الفرق البحثية قد طورت وسيلة لتحديد ما إذا كان أحد التسلسلات المجهولة يشكل تهديدًا، أم لا، في فترة زمنية لا تتعدى أسبوعين. وبحسب أندرو وارين - مهندس البرمجيات من جامعة فيرجينيا في شارلوتسفيل - فإنها ستكون مهمة صعبة. ويضيف قائلًا: "يتوجب علينا أن نحظى بالقدرة على التعرف على أي كائن موجود على سطح كوكب الأرض، وكذلك وظيفته الجزيئية".

ويعمل فريق وارين على تصميم برنامج يقارن 40 مليون سِجل لتسلسلات 90,000 نوع من أنواع الميكروبات. وتتعلم الخوارزمية كيفية التعرف على تسلسلات الحمض النووي للسموم، ومسببات الأمراض المعروفة، وتتعرف على خصائصها المشتركة، ثم تبحث عن تسلسلات مماثلة في كائنات أخرى. ويقول وارين، الذي قدَّم فريقه نتائج أولية في اجتماع جمعية ASM، إنها تستطيع بالفعل التنبؤ – على نحو موثوق – بنوع الكائن الذي تنحدر منه التسلسلات.

ويقول طباع، الذي يعمل فريقه في باتيل على تطوير خوارزمية مماثلة، باستخدام تسلسلات من كل من قواعد البيانات العامة، والقواعد ذات الملكية الخاصة، إنه يمكن لخوارزميات الحاسوب أن تتعرف على القواسم المشتركة بين العوامل المسببة للمرض، التي قد لا يلاحظها الأشخاص. والذي من شأنه أن يساعد البرامج على التمييز بين الأجزاء المهمة من تسلسل الحمض النووي، وبين تلك التي يمكن تغييرها، دون المساس بوظيفة مسبب المرض. ويتمثل الهدف في التحديد الدقيق للأجزاء التي قد تمثل تهديدًا أمنيًّا في تسلسل مجهول.

ويأمل فريق «باتيل» في أن يستطيع البرنامج الكشف كذلك عن معلومات حول الخصائص البيولوجية الأساسية للكائنات ـ مثل تسلسل عام للحمض النووي، يتيح للسموم أو الفيروسات أن تلتصق بالخلية. ويضيف قائلًا: "نعتقد أن هناك قائمة طويلة من الأشياء التي سوف تتحقق من هذا الأمر".

في المقابل يعرب روب كارلسون، المدير الإداري لشركة «بيوإكونومي كابيتال» Bioeconomy Capital - وهي شركة استثمارية رأسمالية في سياتل بولاية واشنطن، عن تشككه فيما إذا كانت حماية شركات تصنيع الحمض النووي من الاستغلال ستمنع هجمات الإرهاب البيولوجي، أم لا. ويقول إنه حتى الآن، انطوى معظم الهجمات على إطلاق مسبِّبات مرض نَمَتْ داخل المختبر؛ ففي عام 2001 - على سبيل المثال - توفي 5 أشخاص في الولايات المتحدة الأمريكية، بينما مرض 17 شخصًا آخرين بعد تلقيهم خطابات ملوثة بالجمرة الخبيثة، ويخشى أن تَدفع أيُّ جهود تبذلها الحكومات لتنظيم عملية تصنيع الحمض النووي الإرهابيين البيولوجيين المحتمَلين إلى العمل بشكل سري.

ومن جانبها رفضت وكالة IARPA التعليق عما إذا كانت تتابعها المخاوف نفسها، أم لا. ■



PHONG PHAM/ALAMY

تصنيع نسخة مستنبَتة معمليًّا تشبه هذا الـ«تشيزبرجر باللحم المقدد» هو عملية صعبة، وباهظة التكلفة.

تكنولوجيا حيوية

أبحاث اللحوم المستنبَتة معمليًّا تظفر بدفعة تمويل استثنائية

شركات «اللحوم المُصنعة» تجني ملايين الدولارات، أمّا البحث الأكاديمي، فيعاني التعثر.

إيلي دولجن

يشهد استثمار القطاع الخاص في مجال اللحوم المستنبَتة معمليًّا تناميًا متزايدًا في ظل مطاردة الشركات حلم توفير كميات لا نهائية - ولذيذة - من «الناجتس» وشرائح اللحم والبرجر المستنبَتة معمليًّا، بدلًا من الاعتماد على الماشية الحية. وخلال العامين الماضيين، حصل عدد من الشركات الناشئة، المنتِجة للحوم النظيفة، على عشرات الملايين من الدولارات، التي قدمها إليها مليارديرات، مثل: بيل جيتس، وريتشارد برانسن، وعملاقَي المنتجات الزراعية: كارجيل، وتايسون.

في المقابل، يعاني تمويل الأبحاث الأكاديمية المعنية باللحوم المستنبَتة معمليًّا من التعثر، في الوقت الذي يُعرِب فيه بعض الباحثين عن حاجة هذا النشاط الماسة إلى التمويل. وبالرغم من الاهتمام التجاري المتزايد بإنتاج لحوم صديقة للبيئة، ومقبولة أخلاقيًّا، فإن المنتقدين يزعمون أن الصناعة تفتقر إلى الكثير من الخبرة العلمية، والهندسية، اللازمتَين لتقديم اللحوم المستنبَتة معمليًّا إلى الجماهير. هذا، إلى جانب أن الإنجازات التي تحققها الشركات التجارية غالبًا ما تخضع للحماية، باعتبارها أسرار المهنة.

في هذا الصدد، يقول بول موزدزياك، عالم أحياء العضلات بجامعة ولاية كارولاينا الشمالية في مدينة رالي، الذي يدرس لحوم الدجاج والديوك الرومية المستنبَتة معمليًّا: "ثمة العديد من العقبات التقنية التي يجب التغلب عليها في هذا المجال". تشمل هذه التحديات إنشاء سلالات خلوية، ووسائط مغذية أكثر جودة؛ لتغذية تلك الخلايا، بالإضافة إلى سقالات تساعد في تشكُّل الخلايا المستزرَعة على هيئة أنسجة، وكذلك توفير أنظمة مفاعلات حيوية؛ من أجل إنتاج اللحوم بكميات كبيرة.

تلقّت الجهود البحثية مفتوحة المصدر في هذا المجال دعمًا في 6 فبراير الماضي، وذلك حين أعلن معهد «جود فود» Good Food - وهو مركز بحثي في واشنطن دي سي، يروِّج لبدائل اللحوم التقليدية - عن الفائزين ببرنامجه الافتتاحي للمِنَح.

يتولى المعهد تقسيم مبلغ 3 ملايين دولار أمريكي بين 14 مشروعًا، منها 6 مشروعات تعمل على إنتاج اللحوم المستنبَتة معمليًّا، و8 مشروعات تركِّز على البروتينات نباتية المصدر؛ بحيث يحصل كل فريق على مبلغ يصل إلى 250 ألف دولار أمريكي على مدار عامين.

وتعليقًا على تلك المبادرة، تقول كيت كروجر، مديرة الأبحاث في «نيو هارفست» New Harvest، وهي منظمة غير هادفة إلى الربح، في مدينة نيويورك: "يبدو هذا بالفعل، كأكبر إسهام يمكنني تخيله، في أبحاث الزراعة الخلوية". ويُذكر أن «نيو هارفست» دعمت أكاديميين عاملين في مجال أبحاث اللحوم النظيفة بما يقارب مليون دولار أمريكي خلال العقد الماضي.

> **"يمكن أن يلعب البحث الأكاديمي دورًا بارزًا ومستمرًا في تسريع الخطى نحو السوق".**

أين لحم البقر؟

أحد الجوانب التي ربما يصنع فيها التمويل فارقًا حقيقيًّا، هو تطوير سلالات خلوية متاحة للجميع، مستمَدة من عضلات الأبقار، والخنازير، والأسماك، وغيرها من الحيوانات التي تمثل مصدر غذاء للبشر. وفي حال غياب مثل هذه الخلايا، يضطر الباحثون إلى الحصول على الأنسجة من المسالخ، أو إجراء تجاربهم مستعينين بخلايا الفئران. يعتزم المركز النرويجي لأبحاث الخلايا الجذعية في أوسلو توظيف منحة معهد «جود فود» في المساعدة على إنشاء مزارعها المجمدة، وهي عبارة عن مستودع للسلالات الخلوية ذات الأهمية الزراعية.

وهناك مجموعة أخرى من الباحثين ترغب في تطبيق الدروس المستفادة من عقود من البحث في ميدان الطب التجديدي. فعلى سبيل المثال، تسعى إيمي روات، وهي أخصائية في علوم الفيزياء الحيوية بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجيليس، مجال دراستها عادة هو الميكانيكا الحيوية للخلايا السرطانية، إلى تصميم سقالات قادرة على استنبات توليفات من أنواع مختلفة من خلايا الأبقار، بهدف تحسين عملية التعريق الدهني في شرائح اللحوم المستنبَتة معمليًّا.

يشير أندرو ستاوت، زميل معهد «نيو هارفست» بجامعة تافتس في مدفورد بولاية ماساتشوستس، قائلًا: "ما يزال الأمر معتمِدًا على المبادئ الأساسية نفسها لهندسة الأنسجة، لكنْ علينا البدء في التفكير في القيود التي يخضع لها التصميم، وذلك من منظورَي الغذاء، والاستدامة".

من جانبهم، يعبِّر روّاد مشروعات اللحوم النظيفة عن أملهم في رؤية مجموعات أكبر من العلماء يخطون إلى هذا الميدان. يرى نيكولاس جينوفيز، المدير العلمي لشركة «ميمفيس ميتس» Memphis Meat، في بيركلي بكاليفورنيا - أن الصناعة بحاجة إلى "مناهج مبتكرة للتصنيع الحيوي عالي الإنتاجية للحوم المعتمِدة على الخلايا"، مضيفًا أن "البحث الأكاديمي يمكن أن يلعب دورًا بارزًا ومستمرًا في تسريع الخطى نحو السوق".

تعود بداية السعي إلى استنبات اللحوم في أطباق معملية إلى عقود مضت؛ ففي حقبة التسعينيات من القرن الماضي، عمد الباحث ورائد المشروعات الهولندي، فيليم فان إيلين، إلى حشد التمويل البحثي من مستثمري القطاع الخاص، وإصدار أول براءة اختراع للحوم النظيفة، ثم نجح لاحقًا في إقناع الحكومة الهولندية بتقديم منحة قدرها مليونا يورو (2.3 مليون دولار أمريكي) إلى فريق من العلماء المهتمين بالمضيّ قُدمًا في هذا المشروع. قاد هذا - في نهاية المطاف - مارك بوست - أخصائي بيولوجيا الأوعية الدموية بجامعة ماستريخت بهولندا - إلى إزاحة الستار في عام 2013 عن أول «همبرجر» مستنبَت معمليًّا في العالم، بتكلفة 250 ألف يورو.

هذا، لكن التمويل الحكومي للمشروع سرعان ما توقف، نظرًا إلى أن المشرّعين الهولنديين أعطوا الأولوية للأبحاث المتعلقة بمصادر البروتينات ذات الأصل النباتي، وهي الأقل كلفة، مثل دقيق الفاصولياء، وبروتين البازلاء، وذلك حسب قول بوست، الذي أَسَّس وقتها شركة التكنولوجيا الغذائية «موسا ميت» Mosa Meat في ماستريخت. وبخلاف القليل من المِنَح التجريبية، كتلك التي قدمتها وكالة ناسا في أواخر التسعينيات، من أجل إنتاج لحوم أسماك في المعمل، لم تنفق سوى هيئات حكومية قليلة مبالغ معتبرة على مثل هذه الأبحاث. ويرى الخبراء أن هذا يُعزى - في الغالب - إلى كون هذا المجال البحثي محفوفًا بالمخاطر، ويتسم بالتعقيد، كما تلتقي فيه عدة تخصصات.

في الولايات المتحدة الأمريكية، تتولى معاهد الصحة الوطنية تمويل أغلب المشروعات البحثية المتعلقة بهندسة الأنسجة، لكنها تركز على التطبيقات الطبية الحيوية. وبالمثل، تتولى وزارة الزراعة الأمريكية تمويل أغلب الدراسات المعنية بعلم الغذاء، لكنها تنفق القليل على مبادرات إنتاج اللحوم المستنبَتة معمليًّا. يعلِّق أميت جيفين، المتخصص في الهندسة الحيوية بجامعة تل أبيب في إسرائيل، الذي يحاول استنبات لحم دواجن على سقالات أُنشئت بتجريد لب التفاح من خلاياه، قائلًا: "هذا مجال يسقط من الحسابات".

بدأت الفرص التمويلية في الازدهار البطيء في بعض البلدان؛ فهيئة الابتكار الإسرائيلية (IIA) تمول «مزارع آلف» Aleph Farms، وهي شركة ناشئة، تنتج شرائح اللحم المستنبَتة معمليًّا، ويقوم نشاطها على الجهود البحثية التي بذلتها خبيرة الهندسة الطبية الحيوية شولاميت ليفينبرج في معهد إسرائيل التكنولوجي في حيفا «تخنيون». ترصد هيئة الابتكار الإسرائيلية حاليًّا ما يزيد على 100 مليون شيكل (27.7 مليون دولار أمريكي) على مدار 8 سنوات؛ من أجل إنتاج حاضنة لتكنولوجيا الغذاء، تساعد في دعم المزيد من هذه المشروعات الأكاديمية المنبثقة.

أسهمت استثمارات القطاع الخاص في صناعة اللحوم النظيفة بالفعل في خفض تكلفة الإنتاج. يقول بوست إن بإمكانه إنتاج «برجر» يبلغ وزنه 140 جرامًا، بتكلفة 500 يورو فقط، بينما

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

تؤكد ليفينبرج قدرة شركتها على زراعة شريحة رفيعة من اللحم بتكلفة قدرها 50 دولارًا تقريبًا.

وفي ظل توقعات بمزيد من التراجع في الأسعار، يعارض بعض العلماء فكرة نقص الأبحاث الأساسية في مجال زراعة اللحوم.

يشير ياكوف ناحمياس - خبير الهندسة الطبية الحيوية بالجامعة العبرية في القدس بإسرائيل، والمدير التنفيذي للشركة الناشئة الإسرائيلية «فيوتشر ميت تكنولوجيز Future Meat Technologies - بقوله: "نحن الآن بصدد شيء نجح مع البشر والفئران، ونسعى إلى تطبيقه على خلايا البقر. لستُ متأكدًا من كوننا ما نزال نتحدث عن عِلْم بحت".

يقول إدو سافير، المدير التنفيذي لشركة «سوبرميت» SuperMeat، بمدينة رحوفوت الإسرائيلية، إنه كما هو الحال بالنسبة إلى الجيل الأول من أي منتج، هناك مجال للتطوير، مشيرًا إلى أن الدفعة الأولى من اللحوم المستنبَتة معمليًّا ستكون أقرب إلى لحوم الوجبات السريعة من تلك التي نجدها في المطابخ الراقية، لكنّ هذه الدفعة الأولى ستساعد في "تمهيد الطريق للصناعة الجديدة"، أمّا ما نحتاجه بالفعل، حسب تعبير سافير، فهو "أنْ ندشن مجالًا علميًّا جديدًا".■

الفضاء

الصين تستكشف الجانب المظلم من القمر

المركبة «تشانجا-4» قد تُرسل إلينا دلائل توضح كيف أصبحت أجزاء من القمر ممتلئة بالتجاويف بفعل الكويكبات.

دافيديه كاستيلفيكي

هبط مسبار صينيّ على الجانب البعيد من القمر ليصبح بذلك الأول الذي يطأ هذه المنطقة، بعد مرور ستين عامًا على إلقاء الإنسان أول نظرة عليها بفضل مركبة مدارية.

ففي الثالث من يناير الماضي، هبطت المركبة «تشانجا-4» Chang'e-4 داخل فوهة فون كارمان (Von Kármán) في تمام الساعة 10:26 بالتوقيت المحلي للصين، وأرسلت المركبة الصور الأولى التي التقطتها. وبعد مرور اثني عشرة ساعة، هبطت الطوافة «يوتو 2» Yutu2 التابعة للبعثة - والتي يبلغ وزنها 140 كيلوجرامًا - على أحد المنحدرات، واتجهت منه إلى التضاريس القمرية.

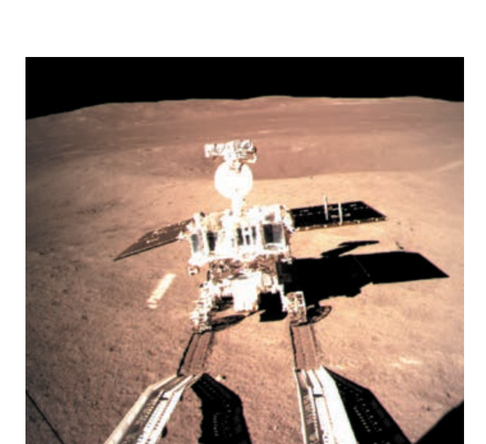
ونظرًا إلى أن الجانب البعيد من القمر يظل مستترًا بصفة دائمة عن كوكب الأرض، فإن أخبار الهبوط الناجح الذي قامت به «تشانجا-4» نقلتها مركبة فضائية تُسمَّى «تشيتشاو» Queqiao، التي تدور - منذ إطلاقها في مايو الماضي - حول نقطة مستقرة من حيث قوى الجاذبية، على بعد 60,000 كيلومتر تقريبًا فيما وراء القمر.

كان يعني موقع الهبوط في الجانب البعيد أيضًا أن «تشانجا-4» كانت بمفردها خلال المراحل الأخيرة من الاقتراب من سطح القمر، ولم يكن من الممكن تشغيلها عن بُعْد؛ فبدءًا من ارتفاع بلغ 15 كيلومترًا، استخدم المسبار معززًا صاروخيًّا؛ حتى يتسنى له أن يقلل سرعته، ويحلق لفترة وجيزة. وفي هذه الأثناء، قامت كاميرا محمولة ونظام لتحديد المدى باستخدام الليزر بمسح التضاريس؛ لتفادي الاصطدام بالجلاميد الصخرية.

يقول براد تاكر، عالِم الفيزياء الفلكية بالجامعة الوطنية الأسترالية بكانبرا: "لقد كان الهبوط ناجحًا بشكل كبير، من الناحيتين التقنية، والعلمية".

أُطلقَت «تشانجا-4» في الثامن من ديسمبر الماضي، وبعد ذلك بأربعة أيام دخل المسبار في مدار قمري مطوَّل للغاية، ثم قام بالمناورة؛ ليبلغ مدارًا أكثر انخفاضًا.

اختارت إدارة البعثة أن يهبط المسبار داخل فوهة «فون كارمان»، المستوية نسبيًّا، وعرضها 186 كيلومترًا، وتقع داخل حوض «القطب الجنوبي-آيتكن» South Pole–Aitken Basin الأكثر اتساعًا بكثير. يزيد عرض هذا الحوض عن 2,500 كيلومتر، ويُعتقد أنه أقدم حوض من بين أحواض الارتطام الكبيرة العميقة



XINHUA/ZUMA WIRE/UNIVERSITY APPLIED PHYSICS LABORATORY/SOUTHWEST RESEARCH INSTITUTE

تم إنزال الطوَّافة «يوتو 2» Yutu2 على سطح القمر في الثالث من يناير 2019.

الموجودة على القمر. ويُعَد هذا الحوض أيضًا ملمحًا وحيدًا من نوعه على الجانب البعيد لهذا الجرم السماوي، ولطالما مثلت دراسته أولوية قصوى لدى باحثي النظام الشمسي.

ويُعتقد أن الحوض تكوَّن إثر اصطدام أحد الكويكبات الكبيرة بالقمر في بدايات عصر «القصف الشديد المتأخر»، قبل حوالي 3.8 مليار سنة. وقد يكشف التحديد الدقيق لتاريخ تكوُّن هذا الحوض عمّا إذا كانت هذه الحقبة من القصف ــ التي لا بد أن تكون قد أثرت على كوكب الأرض، كما أثرت على القمر – قد امتدت على مدى مئات الملايين من السنين، أم كانت متركزة في فترة زمنية وجيزة نسبيًّا.

منطقة لم يسبق استكشافها

بعد تحقيق هبوط ناجح على القمر لأكثر من مرة أثناء سبعينيات القرن الماضي، تبنَّى البعض نظرة تجاه القمر، عنوانها: "لقد كنا هناك، وفعلنا هذا من قبل"، وفقًا لقول جيفري تيلور، العالِم المتخصص في دراسة القمر بجامعة هاواي في هونولولو، غير أنه يشير إلى أن مغامرة الصين تُظهِر أن الأمر خلاف ذلك. ويتابع قائلًا: "لم نفعل كل الأشياء التي كان بإمكاننا فعلها، ولم نستكشف جميع أنحاء القمر"، مضيفًا أن حل ألغاز تاريخ القمر سوف يتطلب - بالرغم من هذا - جمع العينات، وجلبها إلى الأرض؛ لتحليلها.

ولأن دوران القمر حول محوره يتزامن بدقة مع مداره، بسبب "الانغلاق المداري" Tidal locking، لم يكن لدى الإنسان أدنى فكرة عما يبدو عليه الجانب البعيد من القمر، حتى أرسل المسبار «لونا 3» Luna 3 - التابع للاتحاد السوفيتي - اللقطات الأولى لهذا الجانب في عام 1959. كشف «لونا 3» عن منطقة تتسم بعدد أكبر بكثير من الفوهات، مقارنةً بتلك الموجودة على الجانب القريب، وهي منطقة تكاد تخلو من "البحار القمرية"، أو بحار الحمم المتصلِّبة، التي تنتشر في غالبية الجانب القريب المألوف لدينا. ويُذكر أن المركبة «أبوللو 11» Apollo 11 هبطت على أحد هذه البحار، ويُطلق عليه «بحر السكون» Sea of Tranquility.

وفي العقود التالية، تابعت مسابير أخرى هذا العمل، من خلال رسم خرائط طبوغرافية تفصيلية، وأخرى متعلقة بقياسات الجاذبية لسطح القمر بكامله، لكن لم تهبط أيّ مركبة على الجانب البعيد للقمر من حينها، إلى أنْ فعلتها «تشانجا-4». (سبق لمسبار تابع لوكالة ناسا الهبوط اضطراريًّا على الجانب البعيد للقمر في عام 1962). وقد توضح دراسة هذه المنطقة عن كثب الأسباب التي تجعلها مختلفة إلى هذه الدرجة.

خطوة تاريخية

"إن بعثة «تشانجا-4» تُعَد خطوة تاريخية ضمن البرنامج الصيني لاستكشاف القمر، وعمليات الاستكشاف العلمي للقمر على المستوى الدولي ككل"، وفقًا لقول جيم هيد، عالِم الكواكب بجامعة براون في بروفيدنس بولاية رود آيلاند، وأحد المشاركين القدامى في برنامج «أبوللو»، التابع لوكالة ناسا، الذي يضيف قائلًا إن هذه البعثة ستتيح استكشاف سطح ما يُسمَّى بـ«لونا إنكوجنيتا» Luna Incognita، أو القمر المجهول، لأول مرة.

تحمل «تشانجا-4» وطوّافتها ذات الست عجلات أدوات؛ لإجراء مجموعة من التجارب، تتضمن دراسة للبيئة الإشعاعية لسطح القمر، ومسوحًا عميقة باستخدام رادار يمكنه اختراق تربة القمر، وتحليلات لجيولوجيا سطح القمر باستخدام مطياف تصوير. وستُجْرِي هذه الأدوات كذلك قياسات راديوية للكون المبكر، يصعب الحصول عليها من الأرض، لأن الإشعاع ذا التردد المنخفض يُحجَب معظمه بواسطة الغلاف الجوي للأرض. وحسب قول تاكر، يُعَد الجانب البعيد للقمر مكانًا مثاليًّا لجمْع هذه الأنواع من البيانات، لأنه لا يكون مواجهًا للأرض أبدًا. ولطالما تحدَّث الفلكيون عن رغبتهم في إجراء هذه الأنواع من التجارب على القمر. يقول تاكر: "لقد مضت الصين قدمًا، وفَعَلَتْها".

"لم نفعل كل الأشياء التي كان بإمكاننا فعلها، ولم نستكشف جميع أنحاء القمر".

وتحمل «تشانجا-4» كذلك بيئة مُصَغَّرة، ذات مناخ متحَكَّم فيه، وتحتوي تلك البيئة على بذور البطاطس، وبذور لنبات من جنس *Arabidopsis*، وشرانق لدود القز.

لقد تم بناء «تشانجا-4» وطوّافتها - في الأصل - كمَركبات داعمة للبعثة القمرية السابقة «تشانجا-3»، التي أتمّت رحلتها بنجاح في عام 2013. وسوف تستهدف البعثة القادمة، التي ستطلقها الصين إلى القمر (البعثة «تشانجا-5») جمْع عينة من صخور القمر؛ وجلبها إلى الأرض. ومن المقرر إطلاق هذه البعثة في وقت لاحق من العام الجاري. ■



أشباح في الكهف

مجموعة غامضة من البشر القدماء الذين عُرفوا باسم الدينيسوفان تساعد على إعادة تشكيل فهْمنا للتطور البشري. فمَن كانوا هؤلاء البشر؟

إيوين كالاواي

لم يكن لدى سامانثا براون آمال عريضة عندما كانت تفتح حقيبة تحتوي على حوالي 700 شظية عظمية؛ إذ حذّرها البعض من المشقة التي ستتكبدها من جرّاء تحليل هذه العظام، وعدم احتمالية أن يكون أي منها لبشر.

استُخرجت هذه الحفريات من كهف دينيسوفا، وهو موقع أثري كائن في جنوب سيبيريا، حيث اكتشف العلماء في عام 2010 مجموعة من البشر القدامى[1]، لم تكن معروفة من قبل. وقد تمكن الباحثون من التعرف عليها بناء على الحمض النووي المحفوظ في عظم أحد الأصابع، وأطلقوا عليها اسم إنسان الـ«دينيسوفان» Denisovans. وقد حوّل هذا الاكتشافُ المأوى النأي إلى واحد من أهم المواقع الأثرية في العالم.

فحصتْ براون كيس العظام، واختبرت كل عظمة منها على حدة، بحثًا عن البروتينات التي تميز أشباه البشر، فوجدت عظامًا تخص دببة، وبيسون (الثور الأميركي)، وضباع، بل وحتى ماموث، ووحيد القرن، لكن لم يكن هناك أي أثر لأشباه البشر الذين تبحث عنهم. وعليه، سافرت إلى سيبيريا؛ لتجمع المزيد من عينات العظام، التي كانت قد استُخرجت من كهف دينيسوفا، مدركة أن فرصها في النجاح ضئيلة.

ابتسم الحظ لبراون في يونيو 2015، حين تبين أن شظية طولها سنتيمتران، مأخوذة من عظمة طويلة، تحتوي على كولاجين أشباه البشر. تقول براون: "كانت لحظة اكتشاف أن إحدى العظام كانت لواحد من أشباه البشر مثيرة للغاية". إلا المفاجأة الحقيقية التي لم تكن براون تتوقعها تمثلت في الاكتشاف التالي الذي قام به زملاؤها في ألمانيا، الذين وضعوا تسلسل الجينوم الكامل للحمض النووي للعظْمة نفسها. وهكذا أعلن فريقٌ ضم براون، في العام الماضي، أن العظمة تخص امرأة عاشت قبل حوالي 100 ألف سنة، وكانت نتيجة تزاوج أُمّ تنتمي إلى فصيلة النياندرتال، وأب ينتمي إلى فصيلة الدينيسوفان[2]، وقد أطلقوا على هذه الفتاة الفريدة اسم «ديني».

تقول براون: "كان هذا اكتشافًا بعيد المنال، ولكنْ ما كان مذهلًا ورائعًا بالفعل، هو اكتشاف أن «ديني» تنتمي إلى الجيل الأول من السلالة. لا شك أنها تمثل خير شاهد على ما يمكننا العثور عليه مستقبلًا".

ومنذ ذلك الحين، توالت اكتشافات براون وزملاؤها لشظايا أخرى من عظام لأشباه البشر في كهف دينيسوفا، ويباشر الفريق مشروعًا لتحليل عشرات الآلاف من شظايا العظام التي عُثر عليها في الكهف ذاته، وفي مواقع أخرى من آسيا. يأتي هذا العمل البحثي في إطار محاولات توسيع نطاق البحث عن سلالة الدينيسوفان في جميع أنحاء القارة، حيث توجد آثار من الحمض النووي الخاص بهذه السلالة في الكثير من المجموعات البشرية الحديثة. ويأمل الباحثون أن يحددوا النطاق الذي انتشرت فيه هذه المجموعة الغامضة – الذي ربما امتد من سيبيريا إلى أوقيانوسيا - وأن يتعرفوا على طرق احتكاكها مع أنواع أخرى من أشباه البشر، ومن بينهم الإنسان العاقل *Homo sapiens*، وإنسان النياندرتال. هذا، ويأمل كثير من العلماء في العثور على بقايا وآثار أكثر اكتمالًا لسلالة دينيسوفان، حتى يتمكنوا من تصور الشكل الذي كان عليه أفراد السلالة، والطريقة التي كانوا يتصرفون بها.

بعد مرور قرابة العقد على اكتشاف إنسان الدينيسوفان، أخيرًا بدأت هذه السلالة تحظى باهتمام العلماء. وأخذت ثقة العلماء تزداد بأنهم سيكشفون قريبًا المزيد من بقايا هذه السلالة القديمة في مواقع أخرى بخلاف كهف دينيسوفا، ولعلهم عثروا على البعض بالفعل. وأشار الباحثون إلى إمكانية انتماء بعض الحفريات غير المألوفة في الصين لسلالة الدينيسوفان.

يقول أندري كريفوشابكين - عالِم الآثار بمعهد الآثار والجغرافيا العرقية، التابع للأكاديمية الروسية للعلوم، فرع سيبيريا، في نوفوسيبيرسك – الذي يُجْري أعمال التنقيب في كهوف بالقرب من دينيسوفا، وفي مواقع أخرى في آسيا الوسطى؛ بحثًا عن أدلة: "إن العثور على أحد أفراد سلالة الدينيسوفان يعتبر صيدًا ثمينًا".

كهف الراهب

يقع كهف دينيسوفا عند سفح جبال «ألطاي»، بالقرب من حدود روسيا مع منغوليا، والصين، وكازاخستان. تقول الأساطير إنّ الكهف، الذي يقع في وادٍ نهري أخضر، ويُذكّر بعض الزوار بسويسرا، قد سُمي على اسم أحد الرعاة المحليين أو أحد الرهبان الذين عاشوا في القرن الثامن عشر، واعتكف في غرف هذا الكهف ذات السقف العالي. يظل الكهف بعيدًا، حتى بالنسبة إلى الباحثين الذين يتوافدون خلال موسم التنقيب، الذي يستمر لستة أشهر على مدار فصلَي الربيع والصيف. تقول كاترينا دوكا، عالمة الآثار، والمشرفة على براون في معهد ماكس بلانك لعلوم التاريخ البشري في ينا بألمانيا، التي زارت الكهف لأول مرة في عام 2013: "هناك، أنت معزول تمامًا عن العالم الخارجي"، مضيفة قائلة: "الموقع يشبه الجنة".

بدأ علماء الآثار السوفييت أعمال التنقيب في الكهف منذ سبعينيات وأوائل ثمانينيات القرن العشرين؛ حيث اكتشفوا عشرات الآلاف من الأدوات الحجرية، وشظايا عظام حيوانية، تعرّض كثير منها للقضم والهضم من قِبَل الضباع أو غيرها من آكلات اللحوم، التي سكنت الكهف. في عام 2009، تلقَّى سفانتي بابو، عالِم الوراثة في معهد ماكس بلانك للأنثروبولوجيا التطورية في لايبزيج بألمانيا، عظمة صغيرة، مكسورة إلى نصفين، لإصبع أحد أشباه البشر، كان أحد العلماء الروس قد استخرجها من الكهف من قبل في العام السابق. تساءل بابو في البداية عما إذا كانت هذه العظمة تخص سلالة النياندرتال، لأنّ فريقه عثر على الحمض النووي للمجموعة في بقايا متشظية في كهف قريب، لكن بابو لم يتوقع الكثير، لأن قطعة العظم هذه كانت صغيرة جدًّا، وعليه، من غير المحتمل أن تحتوي على ما يكفي من الحمض النووي. وفي الواقع، وحسب قوله: "كانت هذه القطعة ملقاة هناك لمدة نصف عام"، قبل أن يحللها فريقه.

أثارت دينيسوفا 3 - وهو الاسم الذي تُعرف به هذه العظمة الآن - أسئلة، لا يزال العلماء يبحثون عن إجابة لها. فإلى جانب الكشف عن وجود المجموعة الجديدة الغامضة من أشباه البشر[1]، أشار الحمض النووي الموجود فيها إلى أن كلًّا من الدينيسوفان، والنياندرتال ينحدران من سلالة لأسلاف البشر، أثبت المزيد من البحث أنها سلالة تباينت عن سلالة الإنسان الحديث، خلال الـ 800 ألف سنة المنصرمة، وغالبًا استوطنت جميع أنحاء آسيا[3]. ولا يزال البشر في جميع أنحاء القارة يحملون - بنسب متفاوتة - آثارًا من سلالة الدينيسوفان.

لا يزال كهف دينيسوفا هو المكان الوحيد الذي عُثر فيه على إنسان الدينيسوفان. وتشير اكتشافات، مثل العثور على «ديني»، إلى أن هذا الموقع كان في وقت من الأوقات نقطة التقاء مجموعات متنوعة من البشر. يضيف بابو قائلًا إنه عندما يتعلق الأمر بفهم مثل هذه التفاعلات بين المجموعات، فإن هذا الكهف يمثل "أحد أهم المواقع في العالم، إنْ لم يكن أهمها على الإطلاق".

«كان مدهشًا أن نعثر على دليل مباشر يسجّل، تقريبًا، لحظة اختلاطهما».

في السنوات التي تلت اكتشاف إنسان الدينيسوفان، استعان العلماء بتسلسل الحمض النووي في إثبات أن القليل من الأضراس استُخرجت من الكهف تخص المجموعة نفسها[4]. كما عثروا على بقايا أخرى تحتوي على الحمض النووي الخاص بسلالة النياندرتال. يكشف تحليل «ديني» عن بعض التفاصيل المهمة عن المجموعتين. يقول بابو: "كنا نعلم أن الدينيسوفان، والنياندرتال قد عاشا هناك، لكننا لم نتصور أنهما تفاعلا معًا بمثل هذا القدر من الحميمية. ولذا، كان مدهشًا أن نعثر على دليل مباشر يسجّل، تقريبًا، لحظة اختلاطهما".

بالإضافة إلى ذلك، أسهَم أيضًا اكتشاف «ديني» في إقناع بابو وعلماء آخرين أنه سيمكن العثور على بقايا أفراد مشابهين، ينتمون إلى سلالة حديثة من مجموعتين لأشباه البشر، ربما أيضًا في كهف دينيسوفا. عثر الباحثون الذين حللوا جينوم «ديني» على علامات تشير إلى أن مجموعة الكروموسومات التي أسهَم بها الوالد، رغم انتمائها بوضوح إلى سلالة الدينيسوفان، فإنها تحتوي كذلك على آثار لسلالة النياندرتال، وهو الأمر الذي يشير إلى أن علاقات سابقة جمعت بين المجموعتين[2]. تقول دوكا: "علينا العثور على هؤلاء الأفراد".

يقول توم هايام، عالِم الآثار بجامعة أكسفورد البريطانية، الذي يعمل مع دوكا وبراون: "يظل الأمر محيرًا، فإما أنه ضربة حظ رائعة، أو أن مثل هذا التزاوج حدث كثيرًا، حتى إننا قد نتوقع العثور على مثل هذه الأنواع في السجل الأثري".

نقاط التقاء مزدحمة

في الوقت الذي يأمل فيه بعض الباحثين في العثور على «ديني» أخرى، يسعى آخرون لتحديد الفترات التي تزامن فيها وجود مجموعات مختلفة من البشر في الكهف، وربما تزاوجوا. وقاد عالما التأريخ الجيولوجي زنوبيا جاكوبس، وريتشارد روبرتس، من جامعة ولونجونج الأسترالية، فريقًا قام بتأريخ رواسب من كهف دينيسوفا، من خلال تحليل مئات الآلاف من حبيبات الكوارتز، والفلدسبار[5].

قدر الباحثون من خلال أقدم الأدوات الحجرية التي عُثر عليها هناك أن أول سكان الكهف انتقلوا إليه قبل حوالي 300 ألف سنة، وكانوا - على ما يبدو - ينتمون إلى سلالة الدينيسوفان، أو النياندرتال. وأشار جاكوبس، وروبرتس في يناير الماضي[5] إلى أن سلالة الدينيسوفان قد سكنت الكهف قبل 200 ألف سنة على الأقل إلى حوالي 55 ألف سنة، حين تكّونت طبقات الرواسب التي عثر فيها على دينيسوفا 3. قدر الفريق أيضًا أن بقايا النياندرتال ورواسبهم تعود إلى ما قبل 100 ألف إلى 190 ألف سنة.

قد يوحي ذلك بأن المجموعتين قد عاشتا معًا لفترات طويلة، إلا أن جاكوبس تنوه إلى أن الفريق لا يمكنه تحديد هذه الفترات، وأحد أسباب ذلك هو ندرة بقايا أشباه البشر. يبحث فريق بابو عن الحمض النووي لأشباه الإنسان في مئات عينات الرواسب القادمة من دراسة جاكوبس، وروبرت، وهو ما قد يساعد في تحديد الفترة التي سكنت فيها مجموعتا الدينيسوفان والنياندرتال الكهف، وما إذا كانتا قد عاشتا معًا في فترة زمنية معينة، أم لا.

ثمة أدلة أيضا على أن الإنسان الحديث قد سكن الكهف، وربما احتكَّ بهاتين المجموعتين الأخريين. فقد عثر علماء الآثار في الرواسب الأحدث للكهف على أدوات ومجوهرات منحوتة

ADAPTED FROM ANSAP/ISTOCK/GETTY

من عظام وأسنان الغزلان وحيوانات أخرى، تشبه المصنوعات اليدوية المرتبطة بأول إنسان عاقل وصل إلى أوروبا، خلال حقبة عُرفت باسم العصر الحجري القديم الأعلى، التي بدأت تقريبًا منذ 50 ألف سنة. وفي بحث آخر نُشر في يناير[6]، قدر فريق بقيادة دوكا، وهايام أن هذه المنحوتات يتراوح عمرها ما بين 43 ألف سنة، و49 ألف سنة، لكن شظية عظمية تراوح عمرها بين 46 ألف سنة، و50 ألف سنة، وتنتمي إلى أحد أشباه البشر، كانت تفتقر إلى الحمض النووي المطلوب؛ لربطها بمجموعة بعينها.

اقترح علماء الآثار الروس الذين قادوا أعمال التنقيب في الكهف أن الأدوات والمجوهرات صنعتها مجموعة الدينيسوفان، وأن المجموعة كانت تملك القدرة على التفكير الرمزي، لكن علماء الآثار في الغرب يرجحون فكرة أن الأدوات من صنع الإنسان الحديث الأول، الذي عُثر على آثاره في موقع سيبيري آخر، وهي بلدة أوست-إيشيم[7]، ويعود إلى العصر الحجري القديم الأعلى.

يفحص العلماء الآن الرواسب الأحدث لكهف دينيسوفا بحثًا عن آثار وحمض نووي لأشباه البشر، يمكنها أن تساعد في الكشف عن صانع هذه المنحوتات. ويقول هايام إنّ أعمالًا بحثية مماثلة تجري في المواقع الأثرية الأخرى في سيبيريا، بما في ذلك العديد من المناطق المجاورة لكهف دينيسوفا، قد تسفر عن إجابات. ويستطرد قائلًا: "ثمة أشياء كثيرة مثيرة للغاية بدأت تحدث، والأمور تمضي بسرعة كبيرة".

البحث عن عظام

أعاق عدم وجود دليل أحفوري على وجود إنسان الدينيسوفان عمل الباحثين. وقد درس بينس فيولا مجموعة العظام، بما في ذلك دينيسوفا 3، التي جرى طحنها؛ لإجراء تحليل الحمض النووي، وكذلك العديد من الأضراس الكبيرة بشكل غير مألوف، التي لا تشبه أضراس النياندرتال، أو أضراس الإنسان الحديث[8]. يقول فيولا، أخصائي علم الإنسان القديم في جامعة تورنتو بكندا، "يمكن أن تملأ جميع بقايا إنسان الدينيسوفان صندوق صغير جدًّا بحق. لقد قضيتُ الكثير من الوقت محدقًا في هذه الشظايا والأسنان الصغيرة جدًّا. إنني - على الأرجح - الشخص الوحيد الذي رآها كلها".

ولكن بدأ يظهر المزيد من الآثار شيئًا فشيء؛ إذ عثر علماء الآثار الذين نقبوا كهف دينيسوفا في عام 2016 على قطعة مكسورة حديثًا من العظم الجداري - وهو جزء من الجمجمة – تحتوي على الحمض النووي الميتوكوندري لإنسان الدينيسوفان. تشبه هذه العظمة بعض الشيء عظام الإنسان المنتصب «*Homo erectus*»، أحد أنواع أشباه البشر، الذي يعتبره معظم الباحثين سلفًا قريبًا للبشر، والنياندرتال، وربما الدينيسوفان، (انظر: «شجرة متشابكة»). يقول فيولا: "من المؤسف أن المعلومات ليست مفيدة بالقدر الكافي. كنت أتوقع المزيد من الاستفادة منها". ومن المتوقع أن يشرح فيولا تحليله في شهر مارس في الاجتماع السنوي للجمعية الأمريكية لعلماء الأنثروبولوجيا الفيزيائية. وهو يأمل أن يُعثر قريبًا على الأجزاء الأخرى من العظم الجداري، أو حتى على جمجمة كاملة. ويضيف: "سيكون رائعًا أن نعثر على المزيد".

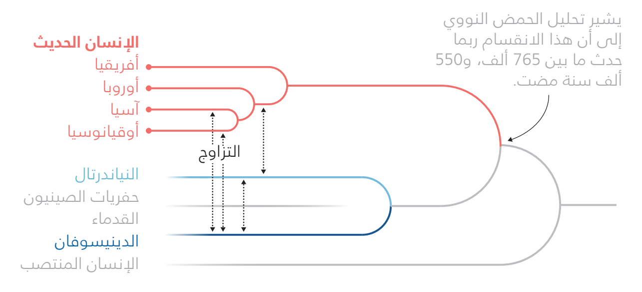
ولا يبدو أن العثور على البقايا المتشظية أمر يندر حدوثه؛ ففي وقت سابق من هذا الشهر، نشر هايام صورة على موقع «تويتر» لشظية عظمية طويلة في كيس بلاستيكي صغير. وكتب قائلًا: "حظ سعيد عظمة الدينيسوفان الصغيرة"، رغم أنه لا يعرف بعد لأيِّ مجموعة من أشباه البشر تنتمي. كانت هذه هي قطعة العظم الخامسة التي تُستخرج من الكهف، بما في ذلك بقايا «ديني»، التي حدد الفريق أنها تنتمي إلى أشباه البشر. كان هايام قد استعان بتقنية تُسمَّى «قياس الطيف الكتلي لآثار الحيوانات» (ZooMS)، طُورت لتتعرف بسرعة على عظام الحيوانات المتناثرة في الغالب في أنحاء المواقع الأثرية. تُجزئ هذه التقنية الكولاجين، وهو البروتين الأكثر وفرة في العظام، إلى ببتيدات أصغر، ثم تستخدم مطياف كتلة؛ لتمييز الاختلافات بين الأنواع الحيوانية. يمتلك أشباه البشر تسلسلات ببتيد كولاجين متطابقة، وعليه، يلزم استخدام الحمض النووي؛ لتحديد هوية المجموعة التي تنتمي إليها البقايا.

في أعقاب النجاحات الأولى، فازت دوكا وزملاؤها في عام 2017 بتمويل من المجلس الأوروبي للبحوث، قدره مليوني يورو (2.3 مليون دولار أمريكي)؛ لتوسيع نطاق البحث عن إنسان الدينيسوفان إلى حوالي 20 موقعًا في أنحاء أوروبا وآسيا، من خلال دراسة ما يتراوح بين 30 ألف و40 ألف عظمة أخرى. تقول دوكا: "هناك أيام، يراودني فيها أمل كبير، وأيام أخرى أفحص فيها مئات العظام، وأجدها جميعًا عظام ضباع. إنني أشعر أنّ الصين هو المكان المناسب للبحث".

يشارك علماء آخرون دوكا الشعور نفسه، ويرجع ذلك، إلى حد كبير، إلى انتشار الحمض النووي لسلالة الدينيسوفان في الإنسان الحديث، فهو موجود بكثرة في الكثير من سكان الصين. بل ويتساءل بعض العلماء عما إذا كان هناك بالفعل هيكل عظمي لإنسان الدينيسوفان في مكان ما وسط إحدى مجموعات المتاحف في الصين، أم لا. ففي عام 2017، على سبيل المثال، قام أخصائيو علم الإنسان القديم بتوصيف الجماجمَ الكبيرة بشكل استثنائي لأشباه البشر الذين عاشوا قبل 105 آلاف سنة إلى 125 ألف سنة، التي عُثر عليها في موقع قريب من مدينة تزوتشانج في وسط الصين[9]. وبناءً على عمرها، وموقعها، وتشريحها المميز، يتساءل بعض الباحثين، ومنهم كريس سترنجر - أخصائي علم الإنسان القديم بمتحف التاريخ الطبيعي في لندن - عما إذا كانوا ينتمون إلى سلالة الدينيسوفان، أم لا. وفي هذا الصدد،

شجرة متشابكة

كان كهف دينيسوفا في سيبيريا موطناً لإنسان النياندرتال والإنسان الحديث، ومجموعة من أشباه البشر القدماء الذين اشتهروا باسم الدينيسوفان. تشير الأدلة إلى أن المجموعات قد تزاوجت في أوقات ما في الماضي، وأن بعض حالات التزاوج قد حدث في منطقة الكهف.



SOURCES: REF. 3; C. B. STRINGER & I. BARNES *PROC. NATL ACAD. SCI. USA* **112**, 15542–15543 (2015).

يقول سترنجر: "مَن هم أفراد سلالة الدينيسوفان الذين عاشوا خارج كهف دينيسوفا؟"، مضيفًا: "لا بد أنهم موجودين في الصين".

يقول فيولا إن الجماجم التي عُثِر عليها في تزوتشانج لا تشبه شظية العظم الجداري التي عثر عليها، وإنه أكثر انشغالًا بالبقايا التي تعود إلى ما يقرب من 300 ألف سنة، والتي استُخرجت من موقع في شمال الصين، يسمَّى تشوجيايو، وتحتوي على أضراس تشبه الأضراس التي عُثر عليها في كهف دينيسوفا. يضيف فيولا: "سأندهش أيما اندهاش إذا تبين أن بعض المواد التي عثر عليها في الصين، وخاصة في تشوجيايو، لا ينتمي إلى سلالة الدينيسوفان".

حلل فريق بقيادة عالِم الوراثة كياوامي فو - الذي أنشأ مختبرًا للحمض النووي القديم في معهد علم حفريات الفقاريات وعلم الإنسان القديم، التابع لأكاديمية العلوم الصينية في بكين - الجماجم التي عُثر عليها في تزوتشانج وغيرها من الجماجم التي يُحتمل أن تنتمي إلى سلالة الدينيسوفان، لكنه يقول إنه لا يوجد، حتى الآن، أي أثر للحمض النووي الخاص بأشباه البشر في هذه البقايا.

قد تتيح البروتينات للباحثين فرصة أفضل للعثور على أحد أفراد سلالة الدينيسوفان في الصين، أو في أي مكان آخر في آسيا، لأنها عادة ما تدوم لفترات أطول من الحمض النووي. وقد استعانت دوكا لتوها بطالب دكتوراة في الصين؛ ليبحث في العينات هناك، وهي تأمل كذلك في تحليل بعض الآثار المستخرَجة من جنوب شرق آسيا، وبابوا غينيا الجديدة.

ونظرًا إلى أن شكل الكولاجين الذي تجزئه تقنية «قياس الطيف الكتلي لآثار الحيوانات» لا يختلف بين سلالة الدينيسوفان وغيرها من سلالات أشباه البشر، سوف يتعين على الباحثين وضع تسلسل بروتينات عظمية تُظهِر تنوعًا أكبر للعثور على سلالة الدينيسوفان. كان فريدو ويلكر، عالِم الأنثروبولوجيا الجزيئية بمتحف التاريخ الطبيعي في الدنمارك في كوبنهاجن، قد بدأ للتو مشروعًا يستهدف التعرف على ما إذا كانت بقايا أشباه البشر - بما في ذلك البقايا المحتملة لإنسان الدينيسوفان - من عصر البليستوسين الأول والمتوسط – وهي الفترة التي امتدت قبل 2.6 مليون إلى 126 ألف سنة – تحتوي على بروتينات تشير إلى وجود علاقات تطورية. يقول ويلكر: "هذه حقبة زمنية لا تنجو منها الأحماض النووية القديمة بالضرورة، لكن البروتينات تنجح في البقاء".

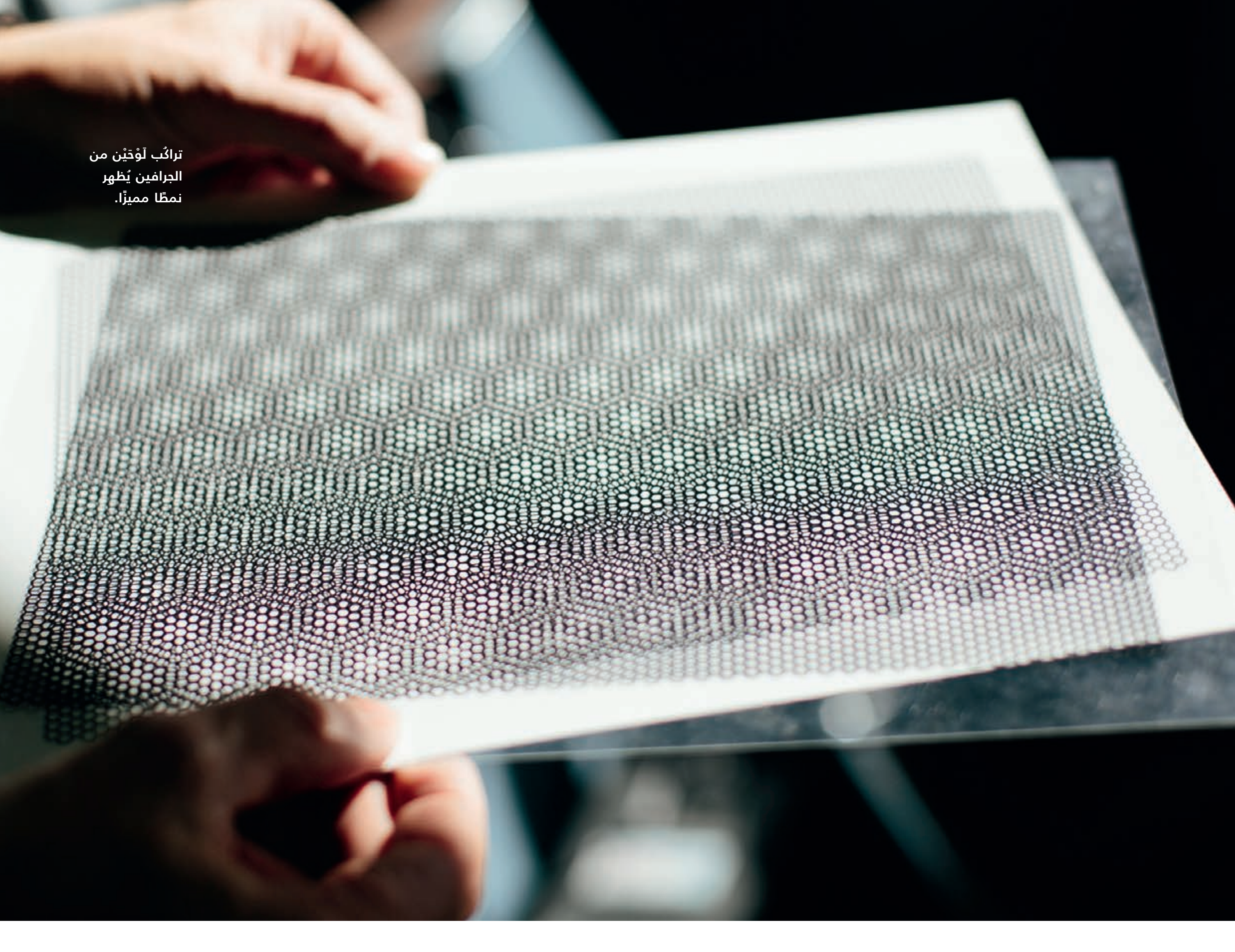
يفترض الكثير من العلماء الآن أن كهف دينيسوفا كان بؤرة استيطانية في منطقة الشمال، اتخذ منه أفراد سلالة الدينيسوفان وسلالات أخرى من أشباه البشر موطنًا لهم، متى ساعد المناخ على ذلك. وحتى بعد فترة طويلة من اختفاء تلك المجموعات القديمة من الموقع، ظل الكهف نقطة جذب لمجموعات متباينة عديدة. ففي يوليو من عام 2018، اجتمع علماء أنثروبولوجيا، وعلماء آثار، وعلماء وراثة ممن أصبحوا مولعين بهذا الكهف، هناك في الكهف، لتبادل أحدث اكتشافاتهم. أُطلق على المؤتمر اسم «أصول العصر الحجري القديم الأعلى في أوراسيا، وتطور جنس هومو»، وإنْ كان يمكن أن يُدعى: «دينيسوفاستوك».

كانت هذه هي المرة الأولى التي تزور فيها براون الكهف، وكانت تدرك أنها ستنبهر بالموقع الذي نضح بالكثير من الاكتشافات. وهي تقول إن المَناظر الطبيعية، والطبيعة الخصبة والخضراء المحيطة بالكهف، أعطتها فكرة عما جذب «ديني» وأقاربها للذهاب إلى هناك، حيث "يَسْهُل تخيّل رغبة البشر في أن يكونوا هناك". ■

إيوين كالاواي يكتب لدورية *Nature* من لندن.

1. Krause, J. *et al. Nature* **464**, 894–897 (2010).
2. Slon, V. *et al. Nature* **561**, 113–116 (2018).
3. Meyer, M. *et al. Nature* **531**, 504–507 (2016).
4. Slon, V. *et al. Sci. Adv.* **3**, e1700186 (2017).
5. Jacobs, Z. *et al. Nature* **565**, 594–599 (2019).
6. Douka, K. *et al. Nature* **565**, 640–644 (2019).
7. Fu, Q. *et al. Nature* **514**, 445–449 (2014).
8. Sawyer, S. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **112**, 15696–15700 (2015).
9. Li, Z. Y. *et al. Science* **355**, 969–972 (2017).

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية



تراكُب لَوْحَيْن من الجرافين يُظهر نمطًا مميزًا.

JULIETTE HALSEY FOR *NATURE*

قدرة توصيل فائقة بزاوية سحرية

يسعى الباحثون جاهدين لفهم السلوك الغريب لمجموعات جرافين متراصة بشكل غير منضبط.

إليزابيث جيبني

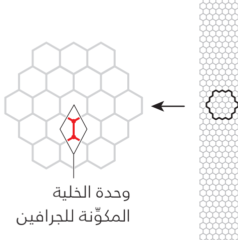
كان عالِم الفيزياء بابلو جاريلو- هيريرو أشبه ما يكون بالنجم البارز. فعندما اعتلى المنصة لإلقاء كلمته في لوس أنجيليس بولاية كاليفورنيا - في شهر مارس 2018 - رأى العلماءَ محتشدين في كل ركن من أركان قاعة الاجتماعات. وقد اضطُر منظمو مؤتمر الجمعية الفيزيائية الأمريكية إلى بث الندوة في مساحة كبيرة مجاورة، داخل غرفة، كان قد تجمَّع فيها حشد من الحضور الواقفين. في ذلك، يقول بابلو جاريلو- هيريرو: "كنتُ أعلم أننا بصدد حدث شديد الأهمية، لكنها كانت تجربة مذهلة".

حضرت حشود علماء الفيزياء هذه، لسماع قصة نجاح فريق جاريلو- هيريرو من معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا في كامبريدج في كشف السلوك الغامض لطبقات كربونية بسُمْك ذَرّة واحدة، تُعرف باسم الجرافين. وأدرك العلماء بالفعل أن هذه المادة العجيبة يمكن أن توصِّل الكهرباء بسرعة فائقة، لكن فريق معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا حقق تقدمًا هائلًا بتحويله الجرافين إلى موصل فائق؛ وهو مادة تسمح بسريان الكهرباء من دون مقاومة. وقد أحرز الفريق هذا الإنجاز الرائع عن طريق وضع لوح من الجرافين فوق آخر، مع تدوير اللوح الأخير في اتجاه خاص، أو بـ«زاوية سحرية»، ثم تبريد المجموعة لما فوق الصفر المطلق بجزء من الدرجة؛ فأَحدَث هذا الدوران تغييرًا جذريًّا في خواص هذه الطبقة الثنائية؛ محولةً إياها في البداية إلى عازل، ثم إلى موصل فائق، من خلال استخدام مجال كهربي أقوى.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

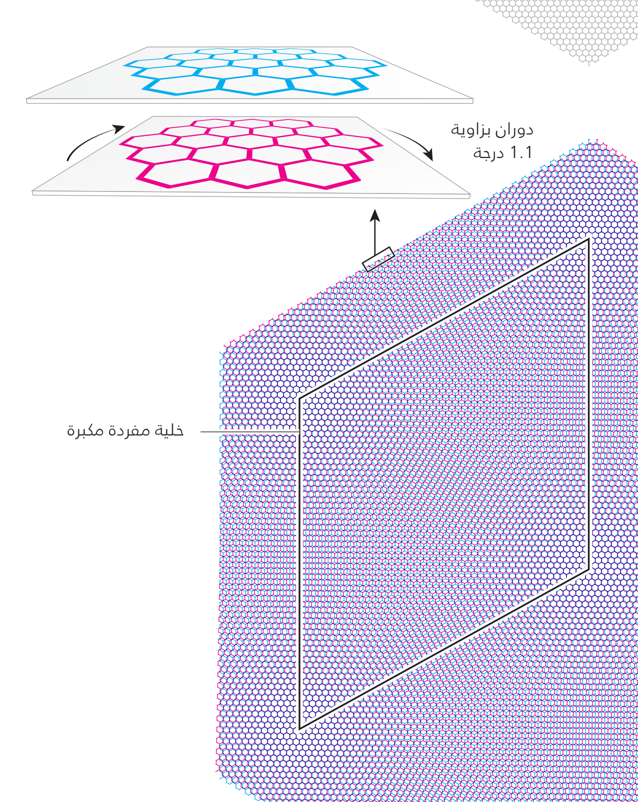
الزاوية السحرية

وضع لوح من الجرافين فوق لوح آخر يمكن أن يُحدث مجموعة من التغيرات. فعند إدارة الألواح بالنسبة إلى بعضها بعضًا بالزاوية المناسبة، يمكن أن يؤدي تفاعل الإلكترونات في الطبقتين إلى ظهور خواص إلكترونية جديدة.



بِنْية بسيطة

البِنْيَة البلورية لطبقة مفردة من الجرافين يمكن أن تُوصف بأنها تكرار بسيط لذرتين؛ "وحدة الخلية" المكونة لها.



الشبكة الفائقة

من خلال إجراء عدة محاولات دوران، تُشَكِّل المجموعة المتراصة ثنائية الطبقات بِنْية تكرارية أكثر تعقيدًا، يُطلق عليها شبكة فائقة، بوحدة خلية أكبر حجمًا. ويمكن أن تتحرك الإلكترونات بين الطبقتين.

وعند تدوير المجموعة المتراصة "بزاوية سحرية" محددة بدقة، يبدو أنها تُظهر سلوكًا لا يُرى في الجرافين العادي، مثل التوصيل الفائق.

سبق تحفيز الجرافين ليُظهِر هذا السلوك، عن طريق دمجه مع مواد معروف عنها سلفًا أنها موصلات فائقة، أو عن طريق ربطه كيميائيًّا بعناصر أخرى. وجذبت هذه القدرة المُكتشَفة حديثًا لتحفيز الخواص نفسها بسهولة وبسرعة الكثير من الاهتمام. وتقول تشانينج جيني لاو، عالمة الفيزياء من جامعة ولاية أوهايو في كولومبوس: "الآن يمكنك وضع طبقتين ذريتين من مادة غير فائقة التوصيل معًا بطريقة معينة، لتدب بالمادة قدرة التوصيل الفائق في لمح البصر؟ أعتقد أن ذلك أذهل الجميع".

أبدى علماء الفيزياء في المؤتمر حماسة أكبر للطريقة التي تصبح بها طبقة الجرافين الثنائية موصلًا فائقًا. وكانت هناك دلالات بأن خواصها المدهشة قد نشأت من جرّاء تفاعلات، أو "ارتباطات" قوية بين الإلكترونات؛ وهو سلوك يُعتقد أنه يكمن وراء الحالات الشاذة للمادة في أوساط المواد الأكثر تعقيدًا. بعض هذه المواد - أي تلك التي تتسم بتوصيل فائق في درجات حرارة مرتفعة نسبيًّا (رغم أنها لا تزال أقل بكثير من صفر درجة مئوية) – أثار حيرة علماء الفيزياء لأكثر من 30 عامًا، فإذا تسببت الآلية نفسها في إكساب الجرافين البسيط القدرة على التوصيل الفائق، فستمثل المادة حينها المفتاح السحري لفهم هذه الظاهرة. وهذا بدوره يمكن أن يساعد الباحثين على تصميم مواد ذات توصيل فائق في درجة حرارة مقاربة لدرجة حرارة الغرفة، وهو ما من شأنه أن يُحْدِث ثورة في الكثير من مجالات التكنولوجيا الحديثة؛ ومنها: النقل، والحوسبة.

تقول لاو: "لاحظت على الفور أن كل من أعرفه تقريبا تحمس للفكرة". وبينما كانت تصغي في اندهاش إلى الكلمة التي يتم إلقاؤها، لم يستطع الآخرون الانتظار، إذ غادر أندريه يونج - عالِم فيزياء المواد المكثفة، من جامعة كاليفورنيا في سانتا باربرا - الاجتماع على عجلٍ إلى مختبره، حيث كان فريقه أحد القلائل في العالَم، الذي يعكف فعليًّا على استكشاف خصائص الجرافين الملتوي، بحثًا عن دلالات للسلوك المدهش الذي ظهر في الآونة الأخيرة. وقد محّص يونج أبحاث مجموعة معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، التي نُشرت في دورية *Nature*[1,2] قبل الكلمة بيومين، وتوصل إلى ما كان يحتاج لمعرفته من أجل تكرار التجربة. وقد تبين أن هذا أصعب من المتوقع، بيْد أنه بحلول شهر أغسطس، نجح[3] أندريه وفريقه في المهمة، بالتعاوُن مع مجموعة أخرى بجامعة كولومبيا في مدينة نيويورك، تحت قيادة صديقه الفيزيائي كوري دين. ويقول جاريلو- هيريرو: "لقد كررنا التجربة بأنفسنا مرات عديدة، وكان الحصول على تأكيد من مجموعة أخرى مطمئنًا للغاية".

وتقول لاو إنه بالرغم من أن التعاون بين يونج ودين كان الأول من نوعه الذي يعلن عن نتائج تكرار التجربة، كانت الأحداث خلف الكواليس تجري بوتيرة محمومة. وتضيف لاو: "لم أشهد مثل هذا القدر الكبير من الحماس في مجال الجرافين منذ اكتشافه لأول مرة". وقد أبلغت ثلاثة فرق أخرى دورية *Nature* بأنها قد كررت بعض نتائج معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا أو جميعها، بالرغم من أن البعض يحتفظون بسرية نتائجهم عندما يُجْرُون تجاربهم باستخدام مواد أخرى ثنائية الأبعاد، ويُحدِثون دورانات بطرق جديدة في طبقات الجرافين؛ ساعين لإظهار تفاعلات أُخرى قوية بين الإلكترونات. ويقول يونج: "يأخذ كل شخص المادة التي يفضلها، ويعمل على ليّها مع مادة أخرى مميزة من وجهة نظره". وفي هذه الأثناء، نشر واضعو النظريات الساعين إلى تفسير هذا السلوك أكثر من 100 ورقة بحثية عن الموضوع على خادم مسودات الأبحاث «أركايف» arXiv. إنّ تحديد ما إذا كانت الآلية التي تكمن وراء التوصيل الفائق في الموصلات الفائقة في درجات الحرارة العالية هي ذاتها التي تلعب دورًا في سلوك الجرافين الملتوي، أم لا، سوف يحتاج إلى معلومات أكثر من ذلك بكثير، وفقًا لرواية لاو. وتضيف لاو قائلة: "بخلاف الإجماع على مدى روعة هذا النظام، لا أعتقد أن واضعي النظريات قد توصلوا إلى أي نقطة اتفاق حتى الآن".

اكتشاف الزاوية السحرية

لم يكن الجمهور الذي حضر كلمة جاريلو- هيريرو في لوس أنجيليس متحمسًا فحسب، بل كان متشككًا في الوقت ذاته. فقد سخرت منه وفود المؤتمر، قائلين إنّ آخِر مَن قدَّم شيئًا رائعًا لهذه الدرجة كان يان هندريك شون، وقد تبين أن نتائجه المبهرة عن التوصيل الفائق وظواهر أخرى، زائفة. حول ذلك يقول جاريلو- هيريرو: "كانوا يمزحون، لكنهم قالوا إنهم يحتاجون إلى أن يشاهدوا التجربة تتكرر أمام أعينهم، قبل أن يصدقوها".

وبالرغم من أن قدرة الجرافين الملتوي على التوصيل الفائق شكّلت مفاجأة، إلا أن فكرة حدوث ظاهرة مثيرة للاهتمام كانت متوقعة. فعند تراكب لوحين من الجرافين بزوايا تزيد على بضع درجات، عادة ما يَسلُك كل لوح منهما سلوكًا مستقلًا عن الآخر، لكن عند تراكبهما بزوايا أصغر، يمكن أن تؤدي المحاذاة غير الصحيحة للوحين المتشابكين إلى تكوين "شبكة فائقة" يمكن أن تتحرك فيها الإلكترونات بين الطبقتين. وتنبأ[4,5] واضعو نظريات بأنه عند دورانات صغيرة محددة – أي زوايا سحرية – يمكن أن تؤدي البِنْية التي تستند إليها هذه الشبكة الفائقة إلى تغير جذري في سلوك الإلكترونات، ما يعمل على إبطائها، وتمكينها من التفاعل بطرق من شأنها أن تغير الخواص الإلكترونية للمادة (انظر: «الزاوية السحرية»). ونظريًّا، يمكن أن تُشكِّل جميع أنواع المواد ثنائية الأبعاد المتراصة في طبقات شبكات فائقة كهذه عند ليِّها بزاوية ملائمة، ولكن لم يستطع أحد التكهن بالطريقة التي ستتغير بها خواص المادة، أو بالزاوية التي قد يحدث عندها هذا التغيير.

بالعودة إلى عام 2010، نجد أن إيفا أندريه - عالمة الفيزياء بجامعة روتجرز في نيو برنزويك بولاية نيوجيرسي – لاحظت مع زملائها دلالات على السلوك الغريب للجرافين[6]، في حدود الزاوية السحرية نفسها تقريبًا التي لاحظها جاريلو- هيريرو وفريقه في وقت لاحق، ولكن شَكَّك الكثيرون في صحة النظرية من الأساس. يقول فيليب كيم، عالِم الفيزياء التجريبية من جامعة هارفارد في



(إلى أقصى اليسار) الفيزيائي بابلو جاريلو-هيريرو مع ثلاثة من طلاب الدراسات العليا في مختبره بمعهد ماساتشوستس للتكنولوجيا.

كامبريدج بولاية ماساتشوستس: "لم أكن أصدق تلك النظرية، ولكني أقر بأنني كنت مخطئًا تمامًا".

وعندما عاد يونج إلى مختبره في شهر مارس، اعتقد أن تكرار نتائج مجموعة معهد ماساتشوستس يبدو مهمة بسيطة، على حد قوله. واستطاع فريقه أن يصل إلى درجات الحرارة شديدة الانخفاض المطلوبة، وكان الباحثون خبراء بالفعل في إعداد عينات نقية للغاية، ولكنْ تبين أن توليف ألواح الجرافين بحيث تصطف في زاوية ملائمة تمامًا – تدوير بحوالي 1.1 درجة – يحتاج إلى بذل جهد مضنٍ.

فالوصول إلى الزاوية المناسبة صعب، خاصة بسبب اختلافها من عينة إلى أخرى بدرجة طفيفة، حسب كيفية تصنيع كل عينة. وتقول أندريه: "عليك أن تُجري بعض عمليات البحث". وإضافة إلى ذلك، فبسبب التشابه الكبير بين تركيب الجرافين الملتوي وتركيب الجرافيت، الذي تصطف فيه الطبقات المتتالية في الاتجاه نفسه، يمكن أن تتسبب أقل حرارة أو إجهاد في انتقال الطبقات إلى وضع المحاذاة. في ذلك يقول يونج: "لا تستقر الطبقات في المكان نفسه الذي تضعها به".

توصَّل مختبر دين، الذي كان يعمل أيضًا على حل المشكلة، إلى حل، فعندما تجاوز الفريق البحثي زاوية الدوران في عدد من الأجهزة، استقرت - على الأقل - عينات عند الزاوية السحرية أثناء دورانها عائدة إلى وضع المحاذاة، ولكنّ اكتساب هذه العينات قدرة التوصيل الفائق تطلَّب معدات قادرة على الوصول إلى كسر من الدرجة فوق الصفر المطلق، بينما يفتقر مختبر دين إلى تلك المعدات. وبالتعاون مع فريق يونج، سرعان ما تمكّن الباحثون من أخذ قياسات أجهزة عديدة، ارتفعت فيها المقاومة فجأة – وهي خاصية من خواص المواد العازلة – ثم انعدمت تمامًا، كما في الموصلات الفائقة، وذلك عندما التقطت الأجهزة المزيد من الإلكترونات عن طريق استخدام مجال كهربي.

وتقول أندريه: "إنه الفريق الآخر الوحيد - بخلاف فريق جاريلو- هيريرو - الذي نشر نتائج تجربته إلى الآن، لكن لن يبقى الحال هكذا طويلًا"، وتضيف قائلة: "جميع مَن أعرفهم يعملون على هذه التجربة".

استثناء للقاعدة

أحد أسباب هذا الاهتمام الشديد بالجرافين الملتوي، هو تلك التشابهات الواضحة بين سلوكه، وسلوك الموصلات الفائقة غير التقليدية. ففي الكثير من تلك الموصلات، يسري التيار الكهربي دون مقاومة في درجات حرارة تزيد - بقدر كافٍ - على الحد المسموح به عامةً في ضوء النظرية التقليدية للتوصيل الفائق، ولكن ظلت كيفية حدوث ذلك لغزًا. وإذا حُلّ هذا اللغز، فبإمكانه أن يتيح لعلماء الفيزياء تصميم مواد توصل الكهرباء بمقاومة منعدمة في درجات حرارة مقاربة لحرارة الغرفة. وتحقيق هذا من شأنه رفع كفاءة نقل الكهرباء بدرجة كبيرة، وسيتيح من خلال خفض تكاليف الطاقة الفرص أمام الموصلات الفائقة، لتُستخدَم في مجموعة من التقنيات الجديدة.

ويعتمد جميع أشكال التوصيل الفائق على ازدواج الإلكترونات بطريقة تسمح لها بالانتقال دون مقاومة. وفي الموصلات الفائقة التقليدية – التي تُدار بها المغناطيسات في أجهزة التصوير بالرنين المغناطيسي – يحدث الازدواج بين الإلكترونات بطريقة غير مباشرة فقط، وكناتج ثانوي للتفاعل بين الجسيمات والاهتزازات داخل شبكتها الذرية، إذ تتجاهل الإلكترونات مثيلاتها، ولكنْ ينتهي بها الحال متحدة معًا بطريقة تساعدها على التحرك دون مقاومة في درجات حرارة تزيد قليلًا على الصفر المطلق، بينما في الموصلات الفائقة غير التقليدية – التي ينقل الكثير منها التيار بمقاومة منعدمة في درجة حرارة تقارب 140 كلفنًا – يبدو أن الإلكترونات تزدوج من خلال تفاعل مباشر، وأقوى بكثير.

وقد أظهرت تجارب معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا دلائل على هذا التوصيل الفائق غير التقليدي. وبالرغم من أن الجرافين الملتوي ثنائي الطبقات لم يصبح موصلًا فائقًا إلا في درجات حرارة شديدة الانخفاض، إلا أنه اكتسب هذه القدرة بوجود عدد قليل جدًّا من الإلكترونات حرة الحركة. وهذا يوحي بأنه - على عكس ما يحدث في الموصلات الفائقة التقليدية - لا بد أن تكون القوة التي جذبت الإلكترونات معًا شديدة نسبيًّا. كذلك يعكس تقارب حالة التوصيل الفائق من حالة العزل ما نلاحظه في مجموعة الموصلات الفائقة التي تعمل في درجات حرارة مرتفعة، والمصنوعة من الخزف، ويُطلق عليها مركبات النحاس (cuprates). وفي تلك الأنظمة، عادة ما تتاخم حالة انعدام المقاومة عازلًا من عازلات «مُوت» Mott، التي لا يتدفق فيها التيار، بالرغم من وجود إلكترونات حرة، وذلك بسبب التنافر المتبادل بين الجزيئات، الذي يؤدي إلى تقييد حركتها.

وإذا كانت تلك الآليات نفسها تلعب دورًا في الجرافين الملتوي ثنائي الطبقات، فهذا قد يُعد مفيدًا لواضعي النظريات. إحدى مشكلات مركبات النحاس - مثل إتريوم الباريوم أكسيد النحاس - تتمثل في كونها خليطًا من العناصر التي تَصعُب نمذجتها. وتقول أندريه: "نأمل في إيجاد الظاهرة نفسها، ولكنْ في نظام أبسط كثيرًا، يمكن لواضعي النظريات الانخراط في دراسته، وتحقيق شيء من التقدم".

كما يُعَد الجرافين أيضًا بمثابة حلم للعلماء الشغوفين بالتجارب. فدراسة الانتقال إلى حالة التوصيل الفائق معناها قياس ما يحدث مع إضافة المزيد من الإلكترونات إلى المادة. ففي مركبات النحاس يحدث هذا عن طريق إدخال ذرات عنصر مختلف في المادة – وهي عملية يُطلق عليها «الإشابة» – بمعنى صنع عينة جديدة بالكامل لكل نقطة في مخطط شبكي. ورغم ذلك - على حد قول أندريه - ففي حالة الجرافين الملتوي، يستطيع الباحثون تفعيل هذا الانتقال ببساطة، من خلال تشغيل مصدر جهد كهربائي. وتضيف قائلة: "هذه ميزة كبيرة".

ولا أحد يعلم بعد ما إذا كان الجرافين الملتوي يسلك بالفعل سلوكًا مماثلًا لموصل فائق غير تقليدي، أم لا، أو حتى ما إذا كان سلوكه هذا ينشأ تحديدًا بسبب الظروف التي وصفتها نظرية الزاوية السحرية. كما تناولت أبحاث النظريات المكدسة التي نُشرت منذ مارس جميع الاحتمالات الممكنة. ونظرًا إلى أن التعقيد البالغ للأنظمة المترابطة، كتلك التي نراها في الجرافين الملتوي، يَحُول دون إحصائها كلها، يستخدم واضعو النظريات المقاربات التي تختلف من نموذج إلى آخر. وهذا من شأنه أن يجعل النظريات مرنة بالقدر الكافي لعلماء الفيزياء، بحيث يمكِّنهم أحيانًا تطويعها لتتناسب مع البيانات الجديدة، على حد قول يونج. ولا يشرح النتائج بشكل مفصل إلا عدد محدود من النظريات، والكثير من هذه النظريات لا يتضمن التنبؤات التي من شأنها أن تسمح للعلماء الشغوفين بالتجارب باختبار السيناريوهات المختلفة، على حد قول جاريلو- هيريرو، الذي يضيف قائلًا: "بالنسبة إلى عالِم شغوف بالتجارب مثلي، فجميعها يبدو منطقيًّا على نحو متشابه. أشعر أني حائر بعض الشيء في خضم كل هذه النظريات".

وإلى الآن، توجد أدلة على التوصيل الفائق التقليدي وغير

التقليدي في الجرافين. ويقول جاريلو – هيريرو إن بيانات معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا التي لم تُنشر بعد تُشير إلى أن الظواهر الأخرى التي تُلاحظ في الموصلات الفائقة غير التقليدية موجودة أيضًا في هذه المادة. فمما يدل على ذلك، أن فريقه لاحظ أن قوة المجال المغناطيسي الضرورية للخروج بالتوصيل الفائق في عينة، من خلال عملية تُعرف باسم تأثير «ميسنر» Meissner ، تختلف بتباين الاتجاه (يفترض أنها قوة مجال مغناطيسي متماثلة في الموصلات الفائقة التقليدية).

نهج حذر

تشير النتائج التي توصلت إليها مجموعتا يونج، ودِين إلى ضرورة توخي المزيد من الحذر. فعيِّناتهما أكثر تماثلًا من عينات مجموعة معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، وتظهران بعض النتائج المتناقضة على حد قول يونج. فعلى وجه الخصوص، يَظهر التوصيل الفائق عندما ينخفض عدد الإلكترونات، وليس عندما يرتفع، ويُزعم أن حالة عدم التماثل هذه أكثر اتساقًا مع خصائص الموصل الفائق التقليدي. وعلى النقيض من المركبات النحاسية التي يمكن أن تصبح عازلة في درجات حرارة أعلى، مقارنة بدرجات الحرارة التي تصبح فيها ذات توصيل فائق، نجد - على ما يبدو - أن كلتا الحالتين تظهران في الجرافين الملتوي في نطاق متقارب من درجات الحرارة، على حد قول يونج. ويضيف يونج أيضًا قائلًا إن المزيد من الاختبارات – كتلك التي تُجرى من أجل معرفة ما إذا كانت حالة التوصيل الفائق لا تزال تظهر عندما يحُدّ مجريو التجارب من الاهتزازات في العينة، مع السماح في الوقت ذاته بحدوث تفاعلات بين الإلكترونات – قد يساعد على تقديم صورة أوضح . كما تعمل مجموعة أندريه أيضًا على تصوير المادة على المستوى الذري؛ من أجل كشف التأثيرات التي يمكن أن تُمحى عند دراسة العينة ككل. وتقول أندريه إن البيانات الأولية لفريقها كشفت عن ظواهر جديدة، قد تساعد على سبر غور خصائص فيزيائية كامنة، إلا أنها غير راغبة في الإفصاح عن المزيد إلى الآن.

ويمكن أن يمثِّل فهْم نتائج التجارب – جنبًا إلى جنب مع ابتكار إعدادات متوافقة مع المواد ثنائية الأبعاد – مهمة مليئة بالتحديات. يقول يونج إنه في هذا النظام الحساس، حتى المادة التي تُشكل الأقطاب الكهربية يمكن أن تؤثر في النتائج. ويوضح قائلًا: "ينبغي أن تتوخى الحيطة عند تفسير ما تراه، لأنك لا تعلم إذا كانت الخاصية تنبع من جوهر النظام، أم من تأثير إعدادات توليفه". ويشير يونج إلى أن الآلية الكامنة وراء التوصيل الفائق قد يتضح أنها تقليدية، وهذا مثير للاهتمام، حتى إنْ لم تساعد في تفسير التوصيل الفائق في درجات الحرارة المرتفعة. ويصف يونج ذلك قائلًا: "هذه بالفعل واحدة من أروع النتائج التي ظهرت في هذا المجال خلال السنوات العشرة الماضية".

وبغض النظر عما إذا كان هذا النمط يماثل الأنماط الغريبة من التوصيل الفائق، أم لا، فالباحثون يعتقدون أنه نظام مذهل، لأنه مثال نادر للتغير الجذري الناتج عن تغيير فيزيائي بسيط، حيث يقول دِين: "هذه الحقيقة - في حد ذاتها - مذهلة ومثيرة، فما السمة التي تكسب هذا النظام توصيله الفائق الذي يختفي من دون زاوية الدوران الدقيقة هذه؟"

وأيًا كان ما يحدث في حالة التوصيل الفائق، فعلماء الفيزياء يتفقون على أنه يستحيل تفسير حالة العزل المصاحِبة، إلا بوجود نوع معين من التفاعل بين الإلكترونات. فالجرافين – على غرار المعادن - موصل بطبيعة الحال، نظرًا إلى وجود إلكترونات حرة تتفاعل فقط مع الشبكة الذرية، وليس مع بعضها بعضًا، ولكن بطريقة ما، وبالرغم من وجود تلك الإلكترونات الحرة التي تفتقر إليها العوازل التقليدية، بإمكان الجرافين ثنائي الطبقات أن يحجب سريان الكهرباء، مما يوحي بحدوث تفاعلات.

هذا مثير للاهتمام، لأن هذه التفاعلات بين الإلكترونات هي السبب الكامن خلف الكثير من الحالات الغريبة والرائعة للمادة، والتي كُشف النقاب عنها خلال العقود القليلة الماضية. وتشمل هذه الحالات السوائل الكمية المغزلية – وهي حالات فوضى غريبة، لا تصطف فيها المجالات المغناطيسية للإلكترونات أبدًا – وحالات «هُول» الكمية الكسرية، وهي أطوار من المادة، تحددها الطوبولوجيا، وتُعَد نوعًا من الخواص التكاملية التي كانت مجهولة في السابق، ويمكن استغلالها في تصميم حواسيب كمية قوية للغاية. ويقول يونج: "إن فهم الأنظمة المترابطة بقوة هو المفتاح للإجابة على التساؤلات الكبيرة، وربما أيضًا للفرص الكبيرة في مجال فيزياء المواد المكثفة في وقتنا الحالي". وتقول ريبيكا ريبيرو- بالاو، عالمة الفيزياء بمركز علوم وتكنولوجيا النانو في باليزو بفرنسا، والباحثة السابقة في مرحلة ما بعد الدكتوراة بمختبر دين: "ينشأ الكثير من هذه الحالات في ظل ظروف تبدو مشابِهة – على الأقل فيما يتعلق بالإلكترونات – لتلك التي تنشأ في الجرافين عند الزاوية السحرية". وهذا يزيد من احتمال ظهور حالات أخرى مثيرة للاهتمام في الطبقات الثنائية الملتوية. وتضيف قائلة: "من وجهة نظري، أرى أن وجود حالة من التوصيل الفائق دليل على شيء أكثر إثارة للاهتمام".

ومن الأهمية بمكان، أن الجرافين وغيره من الأنظمة ثنائية الأبعاد يتيحان قدرًا كبيرًا من التحكم أثناء التجربة، مقارنة بغير ذلك من المواد الأخرى قوية الترابط، على حد قول ريبيكا. ولا تقتصر خيارات الباحثين على ضبط المجال الكهربي بسلاسة؛ من أجل تغيير السلوك فحسب، بل بإمكانهم كذلك ضبط زاوية الدوران أيضًا؛ فحينما كانت ريبيرو- بالو في كولومبيا، استخدمت مع زملائها رأس مجهر القوة الذرية لتدوير طبقة بسلاسة بالنسبة إلى الطبقة الأخرى[7]. وبفضل تعاون يونج ودين، اتضح للباحثين أيضًا أنه يمكنهم ضبط المسافة بين الطبقات بدقة، عن طريق استخدام الضغط. فمن خلال ضغط الطبقات معًا بحيث تقترب أكثر من بعضها البعض، تزداد قوة التفاعل بين الإلكترونات في الألواح، وهذا بمثابة عامل معزز يُترجَم إلى إمكانية ظهور حالة الزاوية السحرية عند دورانات أكبر حجمًا، وأكثر استقرارًا بدرجة كبيرة.

صُنع الدوران

كرَّر كل من كيم وزملائه بالفعل تجربة الجرافين ليحصلوا على النتيجة ذاتها، على حد قوله. والآن، هم يسعون إلى معرفة ما إذا كان بمقدورهم أيضًا توليد قدرة التوصيل الفائق، أو ربما القدرة المغناطيسية في الطبقات الملتوية من أشباه الموصلات ثنائية الأبعاد الأكثر تعقيدًا، التي يُطلق عليها معادن الكالكوجينيدات الثنائية الانتقالية، أم لا. وقبل النتيجة التي توصل إليها فريق معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، كان فريق كيم واحدًا من بين فِرَق قليلة كانت تسبر بالفعل أغوار تأثيرات تدوير طبقة واحدة ثنائية الأبعاد على سطح طبقة أخرى. ويُعَد هذا مجالًا بحثيًّا ناشئًا، يُطلق عليه أحيانًا اسم «لَيّ الإلكترونات» twistronics. ومع اتضاح الاحتمالات في حالة الجرافين، كان ذلك بمثابة نقطة انطلاق لهذا المجال. ويقول كيم: "ثمة احتمال أن تكتشف شيئًا غير متوقع تمامًا".

في الوقت ذاته، يقول فينج وانج - من جامعة كاليفورنيا ببيركلي - إنه رصد هو وزملاؤه دلائل على توصيل فائق في ثلاث طبقات متكدسة من الجرافين، حتى من دون تدوير، فوَضْع ثلاثة ألواح فوق بعضها بعضًا في اتجاه معين[8] يحقق خصائص هندسية للشبكة الفائقة، تشبه تلك الموجودة في طبقتين ملتويتين بزاوية سحرية، وتؤدي - بالمثل - إلى ترابط فيزيائي قوي، حسب قوله.

> **«يأخذ كل شخص المادة التي يفضلها، ويعمل على ليّها مع مادة مميزة أخرى، من وجهة نظره».**

ويأمل علماء الفيزياء في أنْ يؤدي التعاون بين مجالين كانا منفصلَين في السابق – وهما المواد ثنائية الأبعاد، والأنظمة قوية الترابط – إلى نتائج مشوقة. ويقول دِين: "هذا يمنحنا فرصة التحدث إلى مجتمع كامل من الناس، لم نحظَ بفرصة التحدث إليهم في الماضي". ويفكر علماء الفيزياء التطبيقية بشأن كيفية التحكم في الخواص غير المعتادة للمجموعات الملتوية ثنائية الأبعاد، من أجل تخزين ومعالجة المعلومات بكفاءة فائقة. فتدوير أو ضغط المواد يمكن أن يصبح طريقة جديدة أيضًا لإحداث تحوُّل في سلوك الأجهزة الإلكترونية.

وفي الوقت الراهن، ينصبّ تركيز الكثير من الباحثين على تحديد الأمور الجوهرية في هذا الصدد. فقد اجتمع خلال شهر يناير 2019 العلماء الشغوفون بالتجارب، وواضعو النظريات في معهد كافلي للفيزياء النظرية في سانتا باربرا؛ بهدف عقد حلقة عمل؛ للبت في مسائل أساسية في هذا المجال البحثي الآخذ في الازدهار. وكان جاريلو- هيريرو يحدوه الأمل في أنْ يساعد الاجتماع على وصول واضعي النظريات إلى اتفاق، من هنا صرح قائلًا: "في اللحظة الراهنة، لا يستطيعون حتى الاتفاق على الأساسيات". وأضاف قائلًا عقب هذا الاجتماع، إنه ربما يصبح لدى المزيد من العلماء الشغوفين بالتجارب الرغبة في الإفصاح عن خططهم وأفكارهم، والإعلان عما توصلوا إليه من بيانات.

وبالرغم من أن علماء الفيزياء لا يعون لأي مدى سيكون هذا الاكتشاف مهمًا في نهاية المطاف ، يعتقد يونج أن ثمة رسالة جوهرية مستقاة من عشرات الأبحاث النظرية التي ظهرت منذ نشر نتائج معهد ماساتشوستس للتكنولوجيا، حيث يقول: "الباب مفتوح أمام جميع الاحتمالات فيما يتعلق بالنتائج، وحتمًا سوف نصل إلى نتيجة ما". ■

إليزابيث جيبني مراسلة أولى لدورية *Nature* في لندن.

1. Cao, Y. *et al. Nature* **556**, 43–50 (2018).
2. Cao, Y. *et al. Nature* **556**, 80–84 (2018).
3. Yankowitz, M. *et al.* Preprint at https://arxiv.org/abs/1808.07865 (2018).
4. Bistritzer, R. & MacDonald, A. H. *Proc. Natl Acad. Sci. USA* **108**, 12233–12237 (2011).
5. Suárez Morell, E., Correa, J. D., Vargas, P., Pacheco, M. & Barticevic, Z. *Phys. Rev. B* **82**, 121407 (2010).
6. Li, G. *et al. Nature Phys.* **6**, 109–113 (2010).
7. Ribeiro-Palau, R. *et al. Science* **361**, 690–693 (2018).
8. Chittari, B. L., Chen, G., Zhang, Y., Wang, F. & Jung, J. Preprint at https://arxiv.org/abs/1806.00462 (2018).

درب التبانة بين الماضي والمستقبل

البيانات الواردة من مركبة «جايا» الفضائية تُحْدِث تغيرًا جذريًّا في منظورنا عن تطور المجرة.

آدم مان

في شهر إبريل من عام 2018، بينما كانت أمينة حلمي تقود سيارتها إلى مقر عملها في شمال هولندا، شعرت بقشعريرة انتابت جسدها. ولم يكن للطقس دَخْل في ذلك، وإنما كان ترقُّبًا محضًا . فقبل أيام فقط، ورد فيض من البيانات الصادرة عن «جايا» Gaia، البعثة التابعة لوكالة الفضاء الأوروبية (ESA)، التي قضت خمس سنوات في وضع خرائط لمجرّة درب التبانة، إذ كانت عالمة الفلك أمينة حلمي - من جامعة خرونينجن - هي وفريقها يسابقون الزمن؛ لتمشيط هذه البيانات؛ أملًا في الوصول إلى رؤى متعمقة بشأن مجرّتنا، قبل أن يسبقهم غيرهم إليها.

عكفت حلمي وفريقها على العمل بخطى حثيثة، إلى حد أن النوم جافى الفريق من فرط الحماس، إذ راود أفراده شعور بأنهم على وشك التوصل إلى اكتشاف ما. ونجح الفريق في رصد مجموعة من النجوم المرتدة، يبلغ عددها 30 ألف نجم. فعلى النقيض من الأجرام الأخرى التي تدور في شكل قرص مسطح نسبيًّا، الواقعة في الجزء المركزي من مجرة درب التبانة، كانت هذه النجوم المنشقة تتحرك متراجعةً إلى الخلف، في مدارات تحملها إلى خارج مستوى المجرة.

وفي غضون أسابيع، استنتج الفريق أن هذا الحشد الهائل من النجوم الساطعة يُشير إلى فصل مفعم بالاضطرابات من تاريخ المجرة، ظل مجهولًا لفترات طويلة: تصادم عنيف بين المجرة اليافعة، ورفيق عملاق[1]. طاف ذلك الوحش الضخم فيما مضى مجرة درب التبانة، مثل كوكب يدور حول نجم، ولكن قبل فترة تتراوح ما بين 8، و11 مليار سنة، اصطدم الاثنان معًا، وهو ما أسفر عن تغيُّرات هائلة في قرص المجرة، وأدى إلى بعثرة النجوم بعيدًا، وعلى مساحات شاسعة. ويُعتبر هذا الحدث آخر الاصطدامات الكبرى المعروفة

التي شهدتها مجرتنا، قبل أن تتخذ شكلها الحلزوني المألوف، الذي نراه اليوم.

وبالرغم من أن دلائل هذا التصادم القديم ظلت كامنة لمليارات السنين في مكان ظاهر للعيان، لم يتمكن علماء الفلك من رصدها بنهاية المطاف، إلا بفضل مجموعة البيانات الواردة من بعثة «جايا». وتقول حلمي في هذا الصدد: "يُتعذر تصديق أنّنا تمكنا من اكتشاف مثل هذه المرحلة الفارقة في تاريخ مجرة درب التبانة".

وقد بدأت اكتشافات مهمة كهذه تغدو شبه معتادة بفضل بعثة «جايا»، إذ تهدف المهمة الفضائية إلى تصنيف ما يزيد على مليار نجم من النجوم المحلية، ووضع خرائط بيانية لدرجات سطوعها، ودرجات حرارتها، وأعمارها، ومواقعها، وسرعاتها. وتحقق الخاصّيتان الأخيرتان فائدة خاصة لعلماء الفلك، فقبل انطلاق بعثة «جايا»، لم تتوفر لدى العلماء قياسات عالية الدقة للمسافات التي تفصلنا عن كثير من النجوم، فضلًا عن افتقارهم إلى معلومات عما يسمَّى بالحركة الخاصة، أو حركة النجوم عبر الفضاء. فبالاستعانة بهذه المعلومات بالغة الأهمية، يستطيع الباحثون - مثلما استطاعت حلمي، وفريقها - أن يبحثوا عن مجموعات الأجرام المتنقلة معًا في مسارات منسقة، تشير إلى تاريخ مشترك يجمعها. وإضافة إلى ذلك، فإن معرفة سرعات النجوم يمكن أن تساعد علماء الفلك على تتبُّع تأثير المادة المظلمة (المادة الخفية والغامضة حتى الآن، التي تشكل أغلب كتلة المجرة، وتُحْدِث انحناءات في مسارات النجوم تحت تأثير جاذبيتها).

ومنذ إصدار بعثة «جايا» لبياناتها في شهر إبريل من عام 2018، نُشِرَت المئات من الأبحاث. وترسم هذه الأبحاث صورة لمجرّة درب التبانة، بطريقة تبدو فيها مجرّتنا أكثر ديناميكية، وتعقيدًا مما تخيلناه من قبل، إذ تعج المجرة بالمفاجآت، ومن بينها بعض الدلائل المُشيرة إلى تكتلات من المادة المظلمة، قد تتيح للعلماء في نهاية المطاف فهمًا أفضل عن خصائص هذه المادة الغامضة. ويقول فاسيلي بيلوكوروف - عالم الفلك في جامعة كامبريدج في المملكة المتحدة - إن النتائج الأولية الواضحة التي توصل إليها العلماء أحدثت بالفعل تغيرات جذرية. ورغم ذلك، فهي لا تقدم إلا لمحة عما هو آت. ويضيف قائلًا: "إن نظرتنا إلى مجرّة درب التبانة قد تغيرت تغيرًا واضحًا".

ماضٍ مضطرب

يقع النظام الشمسي على حدود مجرة درب التبانة على مسافة تبعد حوالي 8000 فرسخ فلكي (أي ما يعادل 26000 سنة ضوئية) من مركز المجرة، فوق ذراع حلزوني ثانوي، يُدعى الجبار (Orion). وينبغي على علماء الفلك، من هذا الموقع، المُطل على الحزام النجمي الهائل الممتد عبر سماء الليل، أن يضعوا خريطة تفصيلية لبِنْية المجرّة. بحلول منتصف القرن العشرين، رسم علماء الفلك لوحة عامة، حسمت أن نجوم مجرّتنا موزعة في انتفاخ بمركز المجرة، تطوقه أذرع أفعوانية نجمية، وتحيطه هالة كروية رقيقة. وفي سبعينيات وثمانينيات القرن الماضي، استنتج الباحثون كيفية تكوُّن هذه البِنْية على مدار مليارات السنين، بدءًا من سحابة شاسعة من المادة المظلمة، والغازات، والغبار، ثم انكمشت المكونات المرئية لتأخذ شكل هيكل شبيه بالقرص، تضخَّم فيما بعد عن طريق ابتلاع مجرات تابعة أصغر حجمًا. وتمكّن علماء الفلك، لاحقًا، من استكمال باقي التفاصيل، مستخدمين تليسكوبات أرضية؛ لالتقاط صور فوتوغرافية متكررة لسماء الليل بالكامل.

وقد أتاحت عمليات المسح المماثلة للعلماء أن يراقبوا عن كثب أكبر الأجرام المجرِّية الضخمة؛ كالهالة النجمية، حيث عثروا على بقايا مجرّات صغيرة قد توسعت مكونةً سلاسل من حطام مرصع بنجوم لامعة.

بيد أن عمليات المسح الأرضية هذه لا تمد علماء الفلك إلا بقَدْر محدود من المعلومات حول بِنْية مجرة درب التبانة، وهو ما يرجع في الأساس إلى أن الضبابية الناتجة عن الغلاف الجوي المضطرب للأرض تحدّ من دقة قياس المسافات التي تفصلنا عن النجوم. وبالرغم من إمكانية حساب السرعات التي تتحرك بها النجوم مقتربة من الأرض، أو مبتعدة عنها، من خلال التغيرات في لون النجوم، فمن الصعب تصنيف حركاتها الخاصة، ومن ثم سرعاتها الكاملة ثلاثية الأبعاد، وذلك نتيجةً لتحرك أغلب الأجسام ببطء شديد عبر السماء بمقاييس الزمن البشرية. وقد أدت تلك المشكلة إلى إضفاء الغموض على العلاقات بين كثير من النجوم، وهي علاقات قد تُكتشف من خلال رصد التشابهات بين تحركات هذه النجوم.

صُممت بعثة «جايا» الفضائية، البالغة تكلفتها قرابة 740 مليون يورو (أي ما يعادل 844 مليون دولار أمريكي)، والتي اعتُمِدت في عام 2000، ثم انطلقت في عام 2013، بهدف سد هذا النقص في المعلومات. تدور مركبة البعثة حول الشمس في مدار يبعد قليلًا عن مدار الأرض حول الشمس، وتلتقط صورًا للنجوم ذاتها، من مواقع مختلفة في مدارها، وهو ما يسمح لعلماء الفلك بقياس المسافات من خلال مقياس كمي يُطلق عليه «المنظور النجمي»، وهو بمثابة تحولات متناهية الصغر في الموقع الظاهري لجرم ما في السماء تتلازم مع تغيُّر في منظور الجرم. وسبق أن جمع القمر الصناعي «هيباركوس» Hipparcos - التابع لوكالة الفضاء الأوروبية، والذي دخل حيز العمل في الفترة بين عامي 1989، و1993 - بيانات مشابهة عن «المنظور النجمي»، لكنْ في نهاية المطاف، سوف تكون بيانات بعثة «جايا» أدق من بيانات «هيباركوس» بمقدار مائة مرة. وبفضل دقتها هذه، يمكنها سبر أغوار المجرة بشكل أعمق؛ فحوالي 99% من النجوم التي ترصدها، والتي يفوق عددها مليار نجم، لم يسبق أن حدد العلماء مسافاتها بدقة.

وفي إطار مهمة تطلبت جهدًا حسابيًّا مكثفًا، أنشأ باحثو بعثة «جايا» مخططًا لموقع كل نجم بالنسبة إلى كل نجم آخر من النجوم التي يرصدها التليسكوب. وسمح ذلك للفريق بقياس السرعة التي تتحرك بها النجوم كما تبدو عبر السماء، أي حركات النجوم الخاصة. ويمكن لعلماء الفلك - من خلال حساب التحولات الصغيرة في ألوان النجوم - أن يحصلوا على مؤشر يدل على مدى سرعة الأجرام في أثناء تحركها مقتربة من القمر الصناعي، أو مبتعدة عنه، على امتداد مجال رؤيته. وبالجمع بين كلا القياسين - بالإضافة إلى المسافات المحسوبة عبر بعثة «جايا» - يتم التوصل إلى الحركة الكاملة ثلاثية الأبعاد للنجوم. وبإمكان مركبة «جايا» أن تقيس حركة أسطع النجوم التي ترصدها في مجال رؤيتها، في حين سوف تساعدها التليسكوبات الأرضية في قياس حركة باقي النجوم. وبمعرفة موقع كل نجم ووجهته، يستطيع الباحثون أن يزيحوا الستار سريعًا عن تاريخ مجرّتنا الخفي.

كان الحال كذلك فيما يتصل بالاصطدام القديم الذي درسته حلمي وزملاؤها (انظر: «إعادة تشكيل المجرة»). توصّل الفريق - من واقع أبحاثه - إلى أدلة على أن زمرة النجوم التي رصدها تنبثق من أصل مشترك، وهي أدلة دعّمتها البيانات المستمدة من مسح تليسكوب «سلووان» Sloan الرقمي للسماء (SDSS)، في ولاية نيو ميكسيكو، إذ أظهر هذا المسح أن جميع أعضاء هذه المجموعة النجمية يتشابهون في تركيبهم الكيميائي. ووقع اختيار الفريق على اسم «جايا- إنسيلادوس» Gaia-Enceladus، كاسم للمجرّة القزمة التي يُعتقد أنها كانت موطن هذه النجوم. وطبقًا للأساطير الإغريقية، فإن «إنسيلادوس» هو عملاق انحدر من نسل الإله «جايا».

ومن قبيل المصادفة، أن بيلوكوروف وزملاءه اكتشفوا كذلك شواهد دالة على ذلك الاصطدام، مستخدمين معلومات مستقاة من بيانات بعثة «جايا» الأولية، نُشرت في عام 2016. لم تتضمن تلك البيانات قياسات الحركة الخاصة، لكنْ بمقارنة مواقع النجوم في مجموعة البيانات تلك، بأرصاد تليسكوب SDSS، المسجلة منذ حوالي عشر سنوات، نجح الفريق في معرفة كيف تحركت النجوم في أثناء الفترة الزمنية الفاصلة. لاحظ الفريق البحثي مجموعة من الأجرام تتحرك معًا في مدارات غريبة، من شأنها أن تؤدي بشكل حتمي إلى انتقالها من مركز المجرّة إلى أطرافها. بدا أن هذه المجموعة من الأجرام قد نتجت من اصطدام واحد هائل، وقد اتضح تاريخها المشترك من التشابهات القائمة في محتواها من المعادن. ونظرًا لأن مخطط الرسوم البيانية لسرعات تلك النجوم كَوَّن شكل "نقانق"، فقد أطلق الفريق على هذه المجرّة القديمة القزمة، التي احتضنت هذه النجوم يومًا ما اسم «نقانق جايا»[2] Gaia Sausage.

أدّت الازدواجية في اسم المجرة إلى بعض الالتباس في الأوساط العلمية، لكن أيًّا كان اسمها، فإن هذا الاندماج القديم قد يُعتبر مفتاحًا يقودنا إلى حل لغز مجرّتنا الذي دام طويلًا. ويتكون قرص المجرة من عنصرين: قرص داخلي رقيق يحوي غازات، وغبارًا، ونجومًا يافعة، يبدو كحشو بسكويت «الأوريو»، ويستقر هذا القرص داخل قرص خارجي سميك، يتكون بالكامل تقريبًا من نجوم أقدم. وقد دار جدل بين علماء الفلك عما إذا كان القرص السميك قد تشَكَّل أولًا، ثم تبعه تكثُّف للغازات والغبار، مشكِّلًا لُبًّا أقل سُمْكًا، أم أن بِنْية القرص قد بدأت بقرص رقيق انتفخ فيما بعد بشكل جزئي. وبالنظر إلى أن «نقانق- جايا- إنسيلادوس» كانت تمثل جزءًا كبيرًا من حجم مجرّة درب التبانة أثناء الاصطدام، فلا بد أنها أسهمت بقدر هائل من الطاقة في قرص المجرة، مسببةً ارتفاع درجة حرارته وتمدده. ويرى فريق حلمي البحثي أن هذه إشارة، من شأنها أن تؤيد سيناريو الانتفاخ، وأنها دليل على تعرُّض مجرّتنا لتغير جذري.

> «يُتعذر تصديق أنّنا تمكنا من اكتشاف مثل هذه المرحلة الفارقة في تاريخ مجرة درب التبانة».

انفجار معرفي

إن سرعة تكوين مثل هذه الرؤى المتعمقة المستقاة من بيانات «جايا»، والتي كان يصعب من قبل التوصل إليها، قد أذهلت الباحثين؛ فعالمة الفلك كاثرين جونستن - بجامعة كولومبيا في مدينة نيويورك - تتذكر الضجة التي صاحبت نشر بحث علمي في اليوم الذي تلا نشر بيانات

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

إعادة تشكيل المجرّة

بالاستعانة ببيانات مستمَدّة من قمر «جايا» الصناعي، اكتشف فريقان بحثيان نجومًا، يبدو أنها نشأت في مجرّة أصغر حجمًا كانت تدور في السابق حول مجرة درب التبانة. وقبل ما يقرب من عشرة مليارات سنة، اصطدمت المجرّتان، وهو ما أسفر عن إعادة تشكيل بِنْية مجرّة درب التبانة، على غرار ما يظهر في هذه المحاكاة لاندماج المجرتين. ولم تزل بقايا المجرّة الأصغر، التي أطلق عليها فريق بحثي اسم «جايا-إنسيلادوس»، تتحرك في اتجاهات ومدارات متماثلة.



IMAGES FROM ESA

«جايا» في شهر إبريل. وقد أوضح هذا البحث كيف أن ما يقرب من 6 ملايين نجم، بالقرب من الشمس، تصطف كلها في نمط حلزوني مميز، أشبه بقوقعة الحلزون[3].

تشبِّه جونستن هذا النمط بأنه بصمة، خلّفتها مجرة تابعة صغيرة تُعرف باسم كوكبة القوس (Sagittarius). ففي كل مرة تهبط بها كوكبة القوس مقتربةً بسرعة خاطفة، تتسبب في اختلال جاذبية نجوم المجرة، وهذا من شأنه توليد ذبذبات وتموجات في قرص المجرة. وسبق أن طرح الباحثون تخمينات بشأن هذه البصمات، غير أن هذا النسق المميز في بيانات «جايا» بدا كأول إشارة واضحة، ولافتة، تدل على تأثير كوكبة القوس. وعلَّقت جونستن على ذلك قائلة: "أرى أن تلك كانت لحظة مذهلة" وتضيف: "كان الشكل الحلزوني واضحًا للغاية. وبدا كأنه تنبؤ نظري وارد من محاكاة مثالية، لا مخطط فعلي لبيانات".

بفضل ما قدَّمه مسبار «جايا» من أرصاد، لم تعد تلك الاختلالات واضحة للعيان فحسب، بل أضحت تقص رواية مختلفة عن ماضي درب التبانة، فسابقًا، سادت بين غالبية العلماء فرضية بأن الهالة الخارجية لمجرّتنا قد شهدت تاريخًا مليئًا بالفوضى والتصادمات مع المجرّات التابعة الأصغر حجمًا، في حين شهد الجزء المركزي سكونًا نسبيًا. وبصورة عامة، اعتبرت سمات - مثل الأذرع الحلزونية، وشريط النجوم الذي يُعتقد أنه يمر عبر الانتفاخ المركزي للمجرة - على أنها نواتج للديناميكيات الداخلية لمجرّة درب التبانة، لكن هذه الذبذبات التي يبدو أن كوكبة القوس تحفزها، تشير إلى وجود قوى خارجية ذات تأثير أكبر على شكل المجرّة مما كان يُعتقد سابقًا.

يشير أدريان برايس-ويلان - عالِم الفيزياء الفلكية من جامعة برينستون بولاية نيو جيرسي - إلى أن بيانات «جايا» تجبر الباحثين على إعادة النظر في بعض الافتراضات المسَلَّم بها، والمستخدَمة في تبسيط النماذج، ويضيف قائلًا: "كنا نعلم أن تلك الافتراضات خاطئة، وقد أوضحت بيانات «جايا» لنا الآنَ إلى أيّ مدى كانت خاطئة".

تصوير الجانب المظلم

إنّ مسعى العلماء لوضع خرائط للأجرام المضيئة في مجرّتنا قد يلقي الضوء على المادة المظلمة، التي يحتمل أنها تشكل ما يقرب من 90% من كتلة مجرّتنا. ويَعتقِد واضعو النظريات أن مجرّتنا تقع داخل هالة ضخمة، شبه كروية، من المادة المظلمة التي تكتلت معًا - على نحو مماثل إلى حد كبير للمواد العادية - بفعل الجاذبية، مشكِّلة بِنى أصغر حجمًا. وتدل عمليات المحاكاة الكونية على أن آلافًا من التكتلات الكبيرة من المادة المظلمة تدور حول المجرّة، وتبتلعها بين الحين والآخر كتلة من المادة المظلمة في مركز المجرّة، في عملية مشابهة لابتلاع مجرّة درب التبانة لمجرّاتها التابعة الظاهرة الأصغر حجمًا.

مِن المعتقَد أن الغالبية الساحقة من البِنى الثانوية المؤلفة من المادة المظلمة تحوي نجومًا قليلة، أو لا تحوي نجومًا على الإطلاق، وهو ما يجعل رصدها صعبًا، لكن قد تكون بعثة «جايا» قد نجحت في العثور على إشارة إلى وجود مثل هذه التراكيب عبر GD-1، وهي سلسلة طويلة من النجوم، اكتُشفت عام 2006، وتمتد عبر منتصف السماء الشمالية. وسبق أن أجريت دراسات على هذه السلسلة النجمية، لكن بعثة «جايا» سمحت لبرايس-ويلان، وعالمة الفلك آنا بوناكا - من مركز هارفارد-سميثونيان للفيزياء الفلكية بكامبريدج في ماساتشوستس - برصد نجوم حقيقية من هذه المجموعة[4] بمزيد من الثقة. وفي شهر نوفمبر من عام 2018، توصّل العالمان سالفا الذكر - بالتعاون مع زميلين لهما - إلى اكتشاف سمات بنيوية، من بينها فجوة مميزة، ربما تكون من أثر تصادم مع جرم ضخم، قبل حوالي 500 مليون سنة[5]. وربما أدّى مصدر الاضطراب المفترض – في أثناء مروره السريع بالسلسلة النجمية - إلى تفكك قاطرة النجوم هذه، عن طريق جذب بعض النجوم إليه بقوة الجاذبية، وهو ما سمح لهذه النجوم بالتقدم على نظائرها.

وتقول بوناكا إنّه يبدو أن السبب الأرجح لحدوث ذلك هو تكتُّل كثيف من المادة المظلمة، يُحتمل أن تفوق كتلته كتلة الشمس بما يتراوح بين مليون، ومائة مليون مرة. ويمكن لهذا التقدير أن تكون له دلالات في النماذج الفيزيائية للمادة المظلمة؛ فكتلة جسيم من المادة المظلمة تساعد على تحديد مدى سرعته، ومن ثم حجم التكتلات القادر على تكوينها. وترى بوناكا أن حجم الجسم المسبِّب لاضطراب سلسلة GD-1 النجمية يقع في نطاق مثير للاهتمام، يمكن معه أن نستبعد من احتمالاتنا تكتلات المادة المظلمة ذات الكتلة الأقل نسبيًّا.

وتهتم بوناكا وفريقها في الوقت الحالي باستخدام بيانات «جايا»، لتحديد سرعات النجوم التي اضطربت حركتها في تلك السلسلة، وهو ما قد يشير إلى المدار المفترض الذي يسلكه تكتل المادة المظلمة. وإذا نجحوا في التحقق من موقعه الراهن، فربما يستطيعون رصد تأثير جاذبيته على مواد أخرى، أو قد يتسنى لهم توجيه تليسكوبات تستخدم أشعة جاما صوب تلك المنطقة، من أجل البحث عن شواهد دالة على وجود جسيمات من المادة المظلمة، تدمر بعضها البعض، أو تتحلل، وهي عمليات من شأنها أن تبعث فوتونات محملة بالطاقة. وقد يتيح أيٌّ من الأسلوبين فحصًا أكثر مباشرة للخواص الفيزيائية لهذه المادة غير المرئية.

وبرغم ذلك، يؤكد برايس-ويلان على صعوبة التوصل إلى الكثير من الاستنتاجات، استنادًا إلى مثال واحد، لكنه يأمل أن تؤدي الدراسات المنهجية المعتمدة على دليل «جايا»، والمراصد المستقبلية - مثل التليسكوب الأرضي الكبير للمسح الشامل في تشيلي، المتوقَّع أن يبدأ في جمع البيانات في أوائل عشرينيات هذا القرن – إلى الكشف عن نجوم أقل سطوعًا، وسلاسل نجمية أخرى. وإذا ما أظهر بعضٌ من تلك السلاسل النجمية تأثيرات ناجمة عن التعرض لتكتلات من المادة المظلمة، فمن الممكن أن يمدّ هذا علماء الفلك بفكرة أوضح عن مدى انتشار هذه التكتلات، وحجمها، وهو ما قد يساعد في البت في خصائص المادة المظلمة.

ويأمل علماء الفلك أن تساعدهم بيانات بعثة «جايا» عن تحركات النجوم على وضع مخطط يضم تفاصيل الشكل العام للجانب المظلم من مجرّتنا. وقد تختلف درجة كروية، وتناسق شكل هالة المادة المظلمة لمجرّة درب التبانة، حسب نوع الجسيمات المكوِّنة لها. ويتوقع بيلوكوروف أن تكون المعلومات الواردة من «جايا» عن مدارات النجوم المحلية كافية للتوصل إلى الشكل العام لهالة المادة المظلمة وإجمالي كتلتها، على مدار العامين إلى الأربعة أعوام المقبلة.

ولن تقتصر فائدة مثل هذه النتائج على مجرّة درب التبانة فحسب، بل سوف يستعين الباحثون بالنتائج التي يتوصلون إليها حول تاريخ المجرة، وتوزيع المادة المظلمة، لتغذية نماذج كونية مستخدمة بغرض اكتشاف كيفية نمو البِنى الضخمة في الكون، وتغيُّرها. وقد منحت بالفعل وكالةُ الفضاء الأوروبية بعثةَ «جايا» أول تمديد لمهمتها حتى نهاية عام 2020. ويَعتقِد أنطوني براون - عالم الفلك بجامعة ليدن في هولندا، ورئيس ائتلاف البعثة لمعالجة البيانات وتحليلها - أن القمر الصناعي بإمكانه الاستمرار في جمع البيانات حتى عام 2024، في مهمة يبلغ إجمالي مُدّتها عشر سنوات. ويردف براون قائلًا إنّ هذا التمديد من شأنه أن يحسِّن من دقة قياسات «جايا» للحركة الخاصة للنجوم التي ترصدها، بواقع ثلاثة أمثال دِقّتها السابقة، فضلًا عن أنه قد يسمح بتقديم معلومات عن نجوم أبعد بكثير من تلك التي ندرسها حاليًّا.

لم ينته تدوين إرث «جايا» النهائي بعد، لكنّ تدل جميع المؤشرات على أنه سيكون إرثًا ضخمًا. فالبيانات الواردة من عمليات المسح الكلي للسماء - مثل تلك التي تجرى باستخدام تليسكوب SDSS - لم تزل تتيح مكتشفات بناءة حول الكون، حتى بعد مضيّ عقد أو أكثر من الزمن على إتمام هذه العمليات. وتتطلع حلمي إلى استكشاف المزيد من صفحات تاريخ مجرّة درب التبانة مع تزايد بيانات دليل «جايا»، وتفاصيله. وتختتم حلمي حديثها قائلة: "مما أجده مشوقًا للغاية، أننا بدأنا لتَوِّنا التنقيب في أسرار الماضي بشكل فعلي". ■

آدم مان صحفي حُرّ، مقيم في مدينة أوكلاند بولاية كاليفورنيا.

1. Helmi, A. *et al. Nature* **563**, 85–88 (2018).
2. Belokurov, V., Erkal, D., Evans, N. W., Koposov, S. E. & Deason, A. J. *Month. Not. R. Astron. Soc.* **478**, 611–619 (2018).
3. Antoja, T. *et al. Nature* **561**, 360–362 (2018).
4. Price-Whelan, A. M. & Bonaca, A. *Astrophys. J.* **863**, L20 (2018).
5. Bonaca, A., Hogg, D. W., Price-Whelan, A. M. & Conroy, C. Preprint at https://arxiv.org/abs/1811.03631 (2018).

QILAI SHEN/PANOS

جسر تحت الإنشاء بالقرب من مدينة تشونجوي على ضفاف النهر الأصفر في الصين، يظهر فوق حقل للقمح.

أربع خطوات نحو تحقيق الأمن الغذائي للمدن المتضخمة

باوجينج جو، وزملاؤه يحثون على دمج الأراضي الريفية الصغيرة معًا، والحد من هدر الغذاء، وتحسين أساليب الزراعة، وتشجيع سكان الحضر على تخفيض استهلاكهم من اللحوم.

مع ارتفاع تعداد السكان العالمي، وزحف المدن الآخذة في الاتساع على الأراضي الخصبة، تزداد صعوبة إنتاج الغذاء الكافي للجميع[1-3]. وبحلول عام 2050، من المتوقع أن يرتفع تعداد سكان المدن بمقدار يزيد عن ضعف تعداده في عام 2000، وأن يقطن هؤلاء السكان على مساحة من الأراضي الحضرية تبلغ ثلاثة أضعاف المساحة الحالية. وسوف يفقد العالم ما يقرب من 2% من أفضل أراضيه الصالحة للزراعة، معظمها في قارتي آسيا، وأفريقيا، حيث توجد المدن الأسرع نموًّا[3].

ولذلك، فلا عجب في إسراع الحكومات إلى حماية الأراضي الزراعية، والحدّ من الزحف العمراني، إذ يُحظر على البرامج الفيدرالية الأمريكية البناء فوق الأراضي الزراعية عالية القيمة. كما تعمد الصين إلى استصلاح الأراضي الطبيعية، عوضًا عن الفاقد من الأراضي الصالحة للزراعة التي تستولي عليها مشروعات التنمية العمرانية.

بيد أن الحد من خسارة الأرض الزراعية لا يعالج سوى نصف المشكلة (توفير الغذاء)، لكن ثمة مشكلة أكبر، ألا وهي الطلب الآخذ في الارتفاع على الأغذية، وعلى المنتجات الحيوانية بوجه خاص، إذ يحصل الأمريكيون، والأوروبيون على نسبة يتراوح مقدارها ما بين 60 و80% من احتياجاتهم من البروتين من اللحوم، والبيض، ومنتجات الألبان. وتشير تقارير منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة «الفاو» FAO إلى أن الصينيين يستهلكون حاليًّا إجمالًا نصف هذه الكمية من البروتين، بل إنّ الأنظمة الغذائية الموجودة في مدن العالم النامي أصبحت أكثر شبهًا بنظيراتها في البلدان الغربية[4].

تُظهِر بيانات منظمة الأغذية والزراعة للأمم المتحدة أن الاستهلاك العالمي السنوي للحوم يكاد يكون قد تضاعف منذ ستينيات القرن الماضي، من 23 كيلوجرامًا للفرد في عام ◄

1961 إلى 43 كيلوجرامًا للفرد في عام 2013. ويستهلك سكان المدن في الولايات المتحدة الأمريكية، وأستراليا - على سبيل المثال - من اللحوم ومنتجات الألبان أكثر من المتوسط العالمي لاستهلاك سكان الريف بخمسة أمثاله.

كما يهدر سكان الحضر كميات أكبر من الغذاء[5]. ففي شنجهاي، يتخلص 80% من الأُسَر، و40% من المطاعم من أغذية صالحة للأكل، تصل نسبتها إلى 12% من إجمالي إمدادات الغذاء، في حين تنخفض هذه النسبة في المناطق الريفية إلى 2% فقط. أما على الصعيد العالمي، فتتراوح نسبة هدر الغذاء ما بين 30 إلى 50%.

تؤثر جميع هذه التوجهات في الأمن الغذائي. كما تفتقر تربية الماشية إلى الكفاءة، إذ إن إنتاج كيلوجرام واحد من اللحم يستهلك 3-8 كيلوجرامات من الحبوب، وهو ما من شأنه استهلاك المحاصيل التي كان من الممكن أن تمد البشر بالغذاء، كما إن إمداد البشر بالكميات ذاتها من الطاقة والبروتين من خلال المنتجات الحيوانية يتطلب مساحات من الأرض الصالحة للزراعة تفوق أربعة أمثال نظيراتها في حال الاعتماد على نظام غذائي نباتي[6]. ويُستَخدم ما يقرب من 85% من الحبوب التي تنتجها أوروبا والولايات المتحدة الأمريكية كعلف للحيوانات، بينما تصل هذه النسبة في الصين إلى 65%. وتتسبب الماشية في أكثر من نصف إجمالي التلوث الزراعي[2]، ناهيك عن أن الاستهلاك المفرط للحوم مرتبط بالإصابة بالسمنة، وداء السكري، وأمراض الشرايين التاجية بالقلب.

ومع ارتفاع مستويات المعيشة، وتفاقُم التوسع الحضري، تتسبب الأنظمة الغذائية المتغيرة في منع الاستفادة بمساحات أراض أكثر مما تتسبب به مشروعات التطوير الحضري نفسها. فعلى الصعيد العالمي، تشير الإحصائيات إلى أنه بين عامي 1990، و2010، خُصِّصَت مساحات من الأراضي الصالحة للزراعة لإنتاج الماشية (8%)، تساوي أربعة أمثال المساحات المفقودة بسبب النمو الحضري (2%). وإذا استمرت الأنظمة الغذائية في التغير، فإننا سوف نحتاج مزيدًا من الأراضي الصالحة للزراعة لإنتاج علف الحيوانات، وسوف تُزال الغابات، وسوف تتحول المساحات الطبيعية الأخرى إلى مَزارع.

لذلك، ينبغي على صناع القرار السياسي إدارة المدن والمناطق الريفية معًا، لا بشكل منفصل؛ وذلك لضمان التعامل مع عمليات إنتاج الغذاء، واستهلاكه، والتخلص منه كمنظومة واحدة. كما ينبغي على السياسات كبح جماح الزحف العمراني؛ لتوفير الأراضي اللازمة للزراعة، والحث على عدم الإكثار من تناوُل اللحوم.

مواجهة المدّ الحضري

يشكل التوسع الحضري تهديدًا على الأمن الغذائي بطريقتين؛ الأولى تتمثل في الإنتاج المُهدر. فعلى سبيل المثال، تقع مدينة تشنجتشو - في سهل شمال الصين - بمنطقة تشتهر بكونها المُنتِج الأكبر للغذاء في الصين؛ ومنذ عام 1990، ازداد حجم هذه المدينة بمقدار يربو على أربعة أمثال ما كانت عليه (لتبلغ مساحتها اليوم 501 كيلومتر مربع)، بينما فقدت مدينة دلهي الهندية 11% من أراضيها الصالحة للزراعة منذ عام 2001 (المرجع رقم 7).

وقد تَدخَّل واضعو السياسات؛ لإبطاء وتيرة هذه الخسائر، ولاستصلاح الأراضي لأغراض الزراعة[8]، فبين عامي 2000، و2010، نجحت الصين في زيادة مساحة رقعتها الزراعية بنسبة 3%، وذلك بعد تحويل ما يزيد على 4 ملايين هكتار من الأراضي غير المزروعة، والغابات، والأراضي العشبية، والأراضي الرطبة إلى أراض صالحة للزراعة. لكن غالبًا ما تكون الأراضي الزراعية المستصلَحة أقل جودةً من الأراضي التي أُنشئت فوقها المدن، إذ قد تكون الترب جافة، ومفتقرة إلى العناصر المغذية، وقد تكون الأراضي مجزأة، أو منحدرة، أو ذات محتوى عالٍ من الملح، مما يصعِّب مهمة زراعتها.

وتمنح بعض الحكومات الأولوية للنمو الحضري، مع الحد من التنمية العمرانية بالريف، ويمكن لمثل هذه السياسات أن توفر الأراضي اللازمة للزراعة؛ وذلك بوقف زحف الإنشاءات الشائع في المناطق الريفية[9]. بيد أنه في عام 2010، زحفت الصين عمرانيًا على مساحات من الأراض الريفية، فاقت بأربعة أمثال المساحات التي أُنشئت فوقها مبانٍ في المدن، بالرغم من أن أقل من نصف سكانها يعيشون في المناطق الريفية[10].

وبدءًا من عام 2009، دفعت الحكومة الصينية آلاف الدولارات للعمال المهاجرين إلى المدن، بغرض هدم المنازل الريفية التي هجروها[8]. ومن المتوقع بحلول عام 2030 عودة مليون هكتار من الأراضي الريفية إلى النشاط الزراعي بهذه الطريقة. ويُذكر أن اليابان اتبعت استراتيجيات مشابهة منذ عشرينيات القرن الماضي.

ويتيح دمج المساحات الكبيرة من الأراضي الريفية معًا استعمال المزيد من أساليب الزراعة المكثفة، كما يزيد من إنتاج المحاصيل الزراعية. أما المَزارع الصغيرة، فيتعين عليها استخدام كميات أكبر من الأسمدة، ومبيدات الآفات؛ لزيادة محاصيلها، وهو ما يُسفر عن ضرر وتلوث بيئي[11]. ويمكن للتنمية الحضرية، والصناعية أن تعززا من إنتاج الغذاء بطرق أخرى؛ كتوفير الأسمدة، ووسائل الري، وبالإنتاج الخصيب من المحاصيل الزراعية المتنوعة[12].

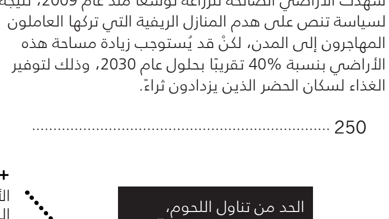
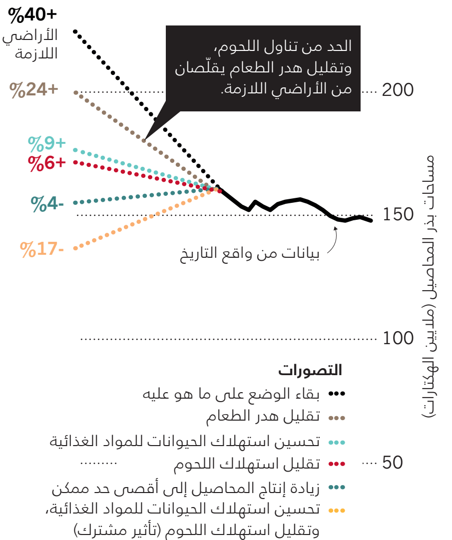
معضلة اللحوم

يمثل استهلاك الغذاء الجانب الآخر من المشكلة، إذ إن تقفي آثاره أصعب، وتندر التدخلات السياسية لمعالجته، ولكن إدارة استهلاك الغذاء تُعَد أداة أكثر فاعلية في تحقيق الأمن الغذائي، مقارنة بحماية الأراضي الزراعية فقط.

إنّ التحول العالمي نحو الأنظمة الغذائية الغنية باللحوم منذ ستينيات القرن الماضي يعني تخصيص 240 مليون هكتار إضافية من الأراضي الصالحة للزراعة حول العالم (أي 15% من إجمالي مساحة هذه الأراضي)، لزراعة علف الحيوانات، وذلك مقارنةً بالمساحة المطلوبة، لو لم تتغير الأنظمة الغذائية. وإذا استمرت هذه التوجهات حتى عام 2030، فسوف يلزم توفير القدر نفسه من المساحة مرة أخرى. وبحلول هذا الوقت، نتوقع أن تضطر الصين إلى زيادة رقعتها الزراعية بنسبة 40%، مقارنةً بمستويات

أزمة الصين الغذائية

شهدت الأراضي الصالحة للزراعة توسعًا منذ عام 2009، نتيجة لسياسة تنص على هدم المنازل الريفية التي تركها العاملون المهاجرون إلى المدن، لكنْ قد يُستوجب زيادة مساحة هذه الأراضي بنسبة 40% تقريبًا بحلول عام 2030، وذلك لتوفير الغذاء لسكان الحضر الذين يزدادون ثراءً.

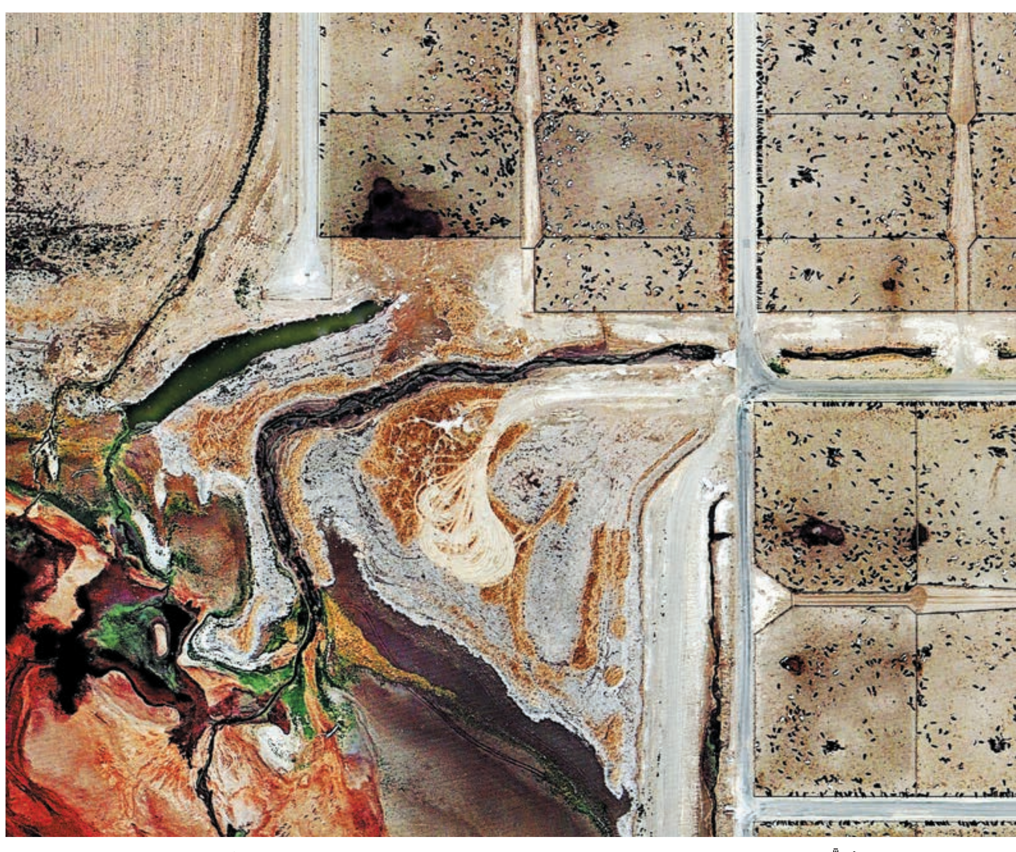
SOURCES: NATL BUR. STAT. CHINA (HISTORICAL DATA)/B. GU *ET AL.* (PROJECTIONS)



لحوم معروضة للبيع في سوق بهونج كونج.

MALTE JAEGER/LAIF/EYEVINE

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية



صورة مُرَكَّبة التقطها قمر صناعي، تكشف نطاق حقول تسمين الماشية في الولايات المتحدة الأمريكية، وما تسببه من تلوث.

MISHKA HENNER

عام 2010، لتصل هذه المساحة إلى 227 مليون هكتار (انظر: «أزمة الصين الغذائية»).

وبالنظر إلى أن المدن الصينية تهدر 18 مليون طن من بقايا الطعام سنويًّا، فإن التقليل من كميات الطعام المهدر بمقدار الثلاثة أرباع من شأنه أن يقلص المساحة المطلوبة من الرقعة الزراعية إلى 200 مليون هكتار.

لكن يمكن بذل المزيد من الجهود.

فحصر الحد الأقصى من السعرات الحرارية التي يحصل عليها الصينيون من تناوُل المنتجات الحيوانية عند 40% (حسبما تشير المبادئ التوجيهية الوطنية للنظم الغذائية)، ورفع كفاءة استهلاك المواشي للمواد الغذائية، قد يساعدان في حل المشكلة. فحتى التغيرات الطفيفة في النظم الغذائية لها تأثير كبير؛ إذ يمكن إنتاج أربعة أمثال كمية الغذاء النباتي في المساحة المخصصة لرعي الحيوانات؛ في الوقت الذي يصل فيه إلى الإنسان 20% فقط من المواد الغذائية المستخدَمة كعلف للحيوانات.

قد يقل إنتاج المحاصيل في البلدان متوسطة الدخل كالصين بنسبة تتراوح بين 10، و40%، عنه في نظيرات هذه البلدان من الدول المتقدمة، نظرًا إلى أن صغار المزارعين في البلدان الأقل تقدمًا يفتقرون في العديد من الأحيان إلى أحدث المعلومات والوسائل الزراعية؛ مثل الري، والآلات. وبرغم هذا، فبوسع الصين أن تلبي احتياجاتها من الطعام، والتغذية حتى عام 2030 باستخدام مساحات أقل من الأراضي من تلك التي توظفها حاليًّا، وذلك بالتركيز على المحاصيل التي تُزرع من أجل الاستهلاك البشري المباشر، وتحسين إنتاج المحاصيل، بحيث يضاهي المحاصيل الأوروبية.

أربع خطوات

ينبغي على الحكومات اتخاذ أربع خطوات للتخفيف من وطأة التوسع الحضري على الأمن الغذائي.

بادئ ذي بدء، على الحكومات أن تدشن حملات للتشجيع على اتباع الأنظمة الغذائية المثالية، وتقليص كميات الطعام المهدر. فعلى سبيل المثال، روَّج العديد من الجامعات الصينية لما يسمَّى بـ«هرم النظام الغذائي المتوازن» balanced diet pagoda في مطاعمها، وهو نظام غذائي يوصي باعتماد الأشخاص في الأغلب على تناوُل الحبوب، والخضراوات، والفواكه، واستهلاك كميات أقل من اللحوم، والبيض، والحليب، والزيوت. كما انطلقت حملة في شنجهاي، تحث قاطني هذه المدينة على عدم إهدار الغذاء. وأشار أحد التقارير إلى ضرورة تخفيض الاتحاد الأوروبي لاستهلاكه من اللحوم والألبان بمقدار النصف بحلول عام 2050 (see go.nature.com/2mddbjb). ويتوجب على العلماء، وخبراء الصناعة، أن يطوروا أساليب لحفظ الأغذية الطازجة لفترة أطول، بما في ذلك تحسين عملية التبريد. ولا بد من تشجيع مبادرات مشاركة الطعام، مثلما يحدث الآن في كثير من المدن؛ ومن بينها: لندن، ونيويورك، وملبورن، وشنجهاي.

«حتى التغييرات الطفيفة في النظم الغذائية لها تأثير كبير؛ إذ يمكن إنتاج أربعة أمثال كمية الغذاء النباتي في المساحة المخصصة لرعي الحيوانات».

ثانيًا: يجب على واضعي الخطط إعطاء الأولوية لتطوير المناطق الحضرية على رقعات صغيرة، ولجهود دمج الأراضي الزراعية معًا، على حد سواء. ثالثًا: قد تبرز الحاجة إلى تدريب المزارعين وتمويلهم؛ من أجل تمكينهم من التعامل مع المساحات الأوسع، وزيادة إنتاجية المحاصيل إلى أقصى حد ممكن، وتقليل المواد المستخدمة في الزراعة إلى أدنى المستويات. ويتعين على الحكومات ضخ الاستثمارات لتحسين عمليات الري، وبناء الطرق، وتوفير الآلات. ولا بد من عقد تعاون بين المزارعين، والعلماء، لتبادل المعارف، وتحديث المهارات[12]؛ في سبيل اتباع أفضل الممارسات عند اختيار أنواع المحاصيل، وأساليب التسميد والري.

وأخيرًا، يجب تحسين طرق تربية الماشية، ومخاليط العلف في البلدان الآخذة في التوسع الحضري؛ لرفع كفاءة استهلاك الحيوانات للمواد الغذائية، ولتضاهي الحيوانات تلك التي تُربَّى في الولايات المتحدة الأمريكية، وأوروبا. وعلى الحكومات أن تعطي حوافز لمربِّي الماشية؛ لتشجيعهم على الانتقال من إنتاج لحوم الأبقار والخنازير إلى إنتاج الحليب، والدواجن، والأسماك، ذات الأثر البيئي الأقل. ولا بد من تشجيع زيادة استخدام مخلفات المحاصيل كعلف للحيوانات. ومن الضروري إدارة المراعي على وجه أفضل، لزيادة إجمالي المعروض من منتجات الحيوانات المجترة للغذاء، لا سيما استخدام أنظمة الرعي الموسع في المساحات غير الصالحة لإنتاج المحاصيل.

على ضوء ما نشهده من موجة التوسع الحضري التي تغزو كوكبنا، فإن تنظيم الطلب على الغذاء، جنبًا إلى جنب مع تحسين الإمداد منه إلى المستوى الأمثل، والقضاء على الإهدار، هو الطريق الوحيد لضمان توفير الغذاء الكافي للجميع. ■

باوجينج جو عالِم بيئي في قسم إدارة الأراضي بجامعة تشيجيانج في هانجتشو بالصين، وفي كلية الزراعة والغذاء بجامعة ملبورن في فيكتوريا بأستراليا. وسيولينج تشانج أستاذة مساعدة في مجموعة البحوث الحضرية بقسم السياسات العامة، من جامعة مدينة هونج كونج بهونج كونج. وزوماي باي أستاذة البيئة الحضرية، وعلم البيئة البشرية بكلية فينر للبيئة والمجتمع، من الجامعة الوطنية الأسترالية في كانبرا بأستراليا. وبوجي فو أستاذ علم بيئة المساحات الخضراء بمركز أبحاث العلوم البيئية للنظم الإيكولوجية في الأكاديمية الصينية للعلوم في بكين بالصين. وديلي تشين أستاذ التربة والبيئة في كلية الزراعة والغذاء، ومدير المركز البحثي الأسترالي-الصيني المشترك القائم باسم «تربة خصبة من أجل استدامة الإنتاج الغذائي والجودة البيئية»، بجامعة ملبورن في فيكتوريا بأستراليا.

البريد الإلكتروني: bjgu@zju.edu.cn

delichen@unimelb.edu.au

1. Godfray, H. C. J. *et al. Science* **327**, 812–818 (2010).
2. Springmann, M. *et al. Nature* **562,** 519–525 (2018).
3. Bren d'Amour, C. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **114**, 8939–8944 (2017).
4. Godfray, H. C. J. *et al. Science* **361**, eeam5324 (2018).
5. West, P. C. *et al. Science* **345**, 325–328 (2014).
6. Tilman, D. & Clark, M. *Nature* **515**, 518–522 (2014).
7. Ahmad, S., Avtar, R., Sethi, M. & Surjan, A. *Cities* **50**, 111–118 (2016).
8. Liu, Y., Fang, F. & Li, Y. *Land Use Policy* **40**, 6–12 (2014).
9. Henderson, J. V., Venables, A. J., Regan, T. & Samsonov, I. *Science* **352**, 946–947 (2016).
10. Bai, X., Shi, P. & Liu, Y. *Nature* **509**, 158–160 (2014).
11. Wu, Y. *et al. Proc. Natl Acad. Sci. USA* **115**, 7010–7015 (2018).
12. Zhang, W. *et al. Nature* **537**, 671–674 (2016).

علم المواد

البحث عن أشباه البلورات

شارون جلوتزر تستمتع بحكاية شيقة عن مغامرات بطولية في علم المواد.

ALISON FORNER/*THE SECOND KIND OF IMPOSSIBLE*, SIMON AND SCHUSTER

'تخيل ما يلي: في أقصى شرق روسيا، تسابِق الزمنَ مجموعةٌ غير متناغمة من اللاعبين الحاذقين؛ لحل لغز ظل خافيًا لمليارات السنين. هذا اللغز قد يربط بين شظية صخرية عُثر عليها في الطابق السفلي المغبَّر بأحد المتاحف الإيطالية، وتطوُّر النظام الشمسي. لحل هذا اللغز، سيتحتم على عالِم لامع في الفيزياء النظرية تَحَمُّل صعاب لا يصدقها عقل، ومواجهة عملاء تابعين للكرملين، والتعامل مع طرد مفقود، ومع يوميات سرية، بالإضافة إلى خوض رحلة شاقة عبر شبه جزيرة بركانية.

هذا ليس فيلمًا مثيرًا من أفلام هوليوود، وإنما مغامرة علمية شجاعة وواقعية. في كتابه «النوع الآخر من المستحيل» *The Second Kind of Impossible*، يروي عالِم الفيزياء النظرية، بول ستاينهارد، قصة مسعاه الجريء؛ بحثًا عن شبه بلورة طبيعية. وشبه البلورة هذه هي شكل من أشكال المادة، ذَرّاته مرتَّبة ترتيبًا شاذًّا، يُعتقد أنه ترتيب مستحيل بالنسبة إلى بلورة. والنتيجة هي مزيج من المذكرات العلمية المعملية الرصينة والمغامرات المثيرة، المفعمة بالاكتشافات، والاحباطات، والابتهاج، والمثابرة.

في البلورات، تنتظم الذرات في نمط متكرر. وفي أشباه البلورات، تنتظم الذرات أيضًا، ولكن النمط يكون غير دوري؛ أي أنه لا يتكرر. ينشأ عن هذا النمط الغريب تناظرات دورانية غير متوقعة (تختلف، مثلًا، عن تلك الخاصة بشبكة مربعة، تكرر نفسها أربع مرات في دوران كامل). اكتُشِفَت أشباه البلورات لأول مرة في ثمانينيات القرن العشرين، غير أن كثيرين في المجتمع العلمي، باستثناء الفيزيائيين، لم يقبلوا التفسيرات التي قُدِّمَت بشأنها لفترة

النوع الآخر من المستحيل: الرحلة الخارقة للعادة؛ بحثًا عن شكل جديد من أشكال المادة
بول جيه. شتاينهارت
دار نشر «سايمون آند شوستر»، (2018)

من الزمن. ومع هذا، أحدثت أشباه البلورات إرباكًا في الفهم العلمي لبِنْية المادة، الذي ساد لما يقرب من قرنين من الزمان. إذ كانت أطروحة بعنوان «رسالة في علم المعادن» *Treatise of Mineralogy*، كتبها القس الفرنسي رونيه-جوس آوي في عام 1801، قد أثبتت أن المواد الصلبة تحتوي على لبنات أساسية مجهرية، وأن جميع عناصر هذه المواد الصلبة ومخاليطها يمكنها – على الأقل من الناحية النظرية – أن تُوجَد في شكل بلوري، بدءًا من السكروز، حتى الياقوت الأزرق. وعلى الرغم من أن هناك آلاف الترتيبات الذرية المحتملة، فإن قوانين توصيف البلورات لم تكن معقدة؛ فالمواد يمكنها أن تحتوي إما على تناظر ثنائي، أو ثلاثي، أو رباعي، أو سداسي. واستمر الأمر على هذا النحو، حتى جاء الكشف عن أشباه البلورات، وكَسَر هذه القوانين.

> "يُستخدم الفولاذ المقوَّى بجزيئات صغيرة من أشباه البلورات في صناعة إبر الوخز، والإبر المستخدمة في العمليات الجراحية، وكذلك أدوات الأسنان، وشفرات الحلاقة".

تبدأ قصة ستاينهارد في عام 1985 في باسادينا بولاية كاليفورنيا، وبعدها في أثناء عمله عضوًا بهيئة تدريس جامعة بنسلفانيا في فيلادلفيا، حيث ألقى ستاينهارد محاضرة في معهد كاليفورنيا للتكنولوجيا (الجامعة الأم، التي درس بها في المرحلة الجامعية الأولى). في هذه المحاضرة شرح ستاينهارد للفيزيائي ريتشارد فاينمان - أستاذه فيما مضى - نظريته التي توصّل إليها مع طالب الدكتوراة دوف ليفين، وهي نظرية تنبّأت باحتمال وجود أشباه بلورات، لها تناظرات ممكنة من الناحية التقنية، ولكنها غير واردة بشدة: "النوع الآخر من المستحيل".

بِنْية محظورة

منذ أواخر سبعينيات القرن الماضي، كان ستاينهارد يتخيل أن البلورات "المحظورة" ذات التناظر الخماسي قد تكون ممكنة إذا ترتبت الذرات، عند التبريد، على شكل شبكة عشرينية الأوجه، تشغل الحيز المكاني. في البداية، أجرى ستاينهارد وليفين التجارب باستخدام كرات الستايروفوم، وفُرَش تنظيف الغلايين، وبعد ذلك استخدما النماذج الورقية. استعان ستاينهارد وليفين بأنماط تبليط بينروز (Penrose tilings)، التي يتضافر فيها شكلان؛ لخلق نمط غير متكرر، يشبه تلك الأنماط التي نشاهدها في التبليط الإسلامي الكلاسيكي. أدرك ستاينهارد وليفين أنهما يستطيعان - عن طريق رسم خطوط متوازية فوق أحد أنماط تبليط بينروز - إثبات أن البلاطات تترتب بشكل شبه دوري؛ فَيَنْتُج عنها تناظر خماسي. كانت هذه هي القفزة التي أرادا تحقيقها؛ فقد قادت الوثبة في الأبعاد الثلاثية إلى شبه البلورة ذات العشرين وجهًا، التي طالما تخيلها ستاينهارد.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

نموذج لهيكل شبه بلورة.

TRUSTEES OF PRINCETON UNIV.

لم يكن ستاينهارد وليفين يعلمان أن أحد علماء المواد - وهو عالِم تفصلهما عنه بضعة مئات من الكيلومترات - قد توصل إلى نمط حيود لا يشبه أيًّا من الأنماط التي رآها من قبل، وذلك في سبيكة من الألومنيوم والمنجنيز، يتم تبريدها سريعًا. كان هذا الباحث هو دان شيختمان، الذي كان يعمل في المكتب الوطني للمعايير (حاليًّا المعهد الوطني للمعايير والتكنولوجيا) في جيثيرزبيرج بولاية ميريلاند. كان لنمط الحيود هذا تناظر دورانيّ عشريّ. في كراسة المعمل الخاصة به، رسم شيختمان – مندهشًا - الحلقات أحادية المركز ذات العشر نقاط لهذا النمط، وكتب بجوارها "عشر مرات؟؟؟". لم يكن شيختمان يعلم هذا بعد، لكنه كان قد اكتشف لتوه أول شبه بلورة. وفي عام 2011، حصل شيختمان على جائزة نوبل في الكيمياء عن هذا الاكتشاف.

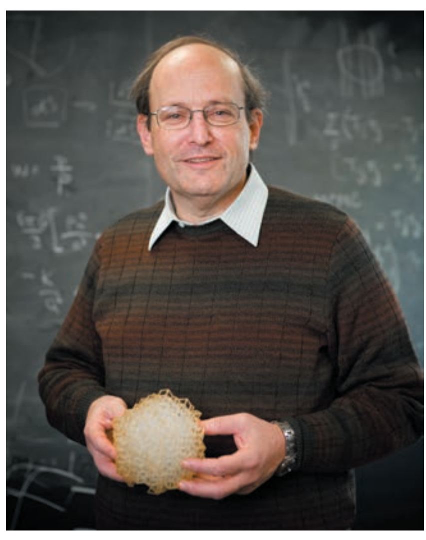
قام ستاينهارد وليفين - وقد أدركا التداعيات المجتمعة لهذا الأمر - بنشر ورقة بحثية عن نظريتهما في دورية «فيزيكال ريفيو ليترز» *Physical Review Letters*، وأفردا فيها أسس مجال البحوث الخاصة بأشباه البلورات (D. Levine and P.J. Steinhardt *Phys. Rev. Lett.* **53**, 2477; 1984).

حتى وقتنا هذا، تم بالفعل إنتاج المئات من أشباه البلورات ذات التناظرات المختلفة في المعمل. وتُعَد المَقالي التي لا يلتصق بها الطعام من بين أولى تطبيقات أشباه البلورات. ويرجع هذا إلى أن هذه السبائك لديها درجة احتكاك منخفضة، ودرجة صلابة مرتفعة، ودرجة تفاعل سطحي منخفضة. ويُستخدم الفولاذ المقوَّى بجسيمات صغيرة من أشباه البلورات في صناعة إبر الوخز، والإبر المستخدَمة في العمليات الجراحية، وكذلك أدوات الأسنان، وشفرات الحلاقة. وقد اكتُشِفَت أشباه البلورات في مواد أخرى غير المعادن، بما في ذلك البوليمرات، ومخاليط الجسيمات النانوية. وتشير عمليات المحاكاة بواسطة الحاسب إلى أن وجود أشباه البلورات يُفترض أن يكون أكثر انتشارًا من هذا.

كل أنواع أشباه البلورات تلك هي مِن صنع الإنسان، لكن ستاينهارد تملكه فضول لاستكشاف الأنواع الموجودة طبيعيًّا. وفي عام 1999، حين كان ستاينهارد عضوًا في هيئة تدريس جامعة برينستون في نيوجيرسي، شرع في العمل على مهمةٍ، لم يكن يتخيلها سوى عدد قليل من علماء الفيزياء النظرية، ألا وهي العثور على أحد أشباه البلورات الموجودة طبيعيًّا. وكان هذا هو اللب الحقيقي الذي بنى حوله كتابه.

البحث حول العالم

بدأ ستاينهارد بالنظر إلى الماضي، في المتاحف التي تضم مجموعات هائلة من عينات المعادن التي تم جمْعها من كل مكان في العالم. وخمّن أن واحدة من هذه العينات ربما تكون شبه بلورة، لم يتم التعرف عليها، وعليه، قام بتكوين فريق عمل ممتاز من زملاء يحدوهم الأمل، كان من بينهم عالِم جيولوجي، وعالِم في المجاهر الإلكترونية، وطالب جامعي، وبدأت عملية البحث. سنوات من البحث والتمشيط في السجلات المتربة لم تسفر عن أي شيء، واستمر الأمر على هذا النحو، حتى وصل إلى برينستون صندوق من متحف التاريخ الطبيعي في فلورنسا بإيطاليا، وكان الصندوق يحتوي على شظية، تكاد لا تُرى بالعين المجردة، من معدن نادر، اسمه الكاتيركايت Khatyrkite. في 2 يناير 2009، أصبح الباحثون على يقين من أنهم اكتشفوا واحدة من أشباه البلورات الموجودة بشكل طبيعي، وهي شبه بلورة، أُطلق عليها في وقت لاحق اسم آيكوساهيدرايت (عشرينية الأوجه) Icosahedrite، ولكن من أين أتت شبه البلورة تلك؟



بول شتاينهارت مع نموذج لشبه بلورة

استنتج الفريق، بعد العديد من التحولات والانعطافات غير المتوقعة، أن العينة يُحتمل أن تكون قد عُثر عليها في شبه جزيرة كامشاتكا البركانية في الجانب البعيد من روسيا. قاد ستاينهارد بعثة استكشافية إلى هناك في عام 2011.. رحلة برية، تشبه لعبة التفتيش عن الأشياء، بحثًا عن النهر الصغير الذي اعتقد الفريق أنه يحوي المصدر الأصلي. وفي نهاية المطاف، توصلت مجموعة العمل إلى أن الشظية جاءت من حجر نيزكي، كان يحتوي على شبه بلورة أخرى تكونت بشكل طبيعي، وهي شبه بلورة، أُطلق عليها اسم ديكاجونايت Decagonite.

هذا الكتاب هو بمثابة نظرة قريبة على التاريخ وقت صنعه. إنه كتاب مشوق لأولئك الذين يعشقون متابعة أخبار أشباه البلورات مثلي، وكتاب مبهج لأي شخص كان يحلم بالتعرف على حقيقة علمية كانت خافية كإبرة في كومة قش. لقد حقق ستاينهارد توازنًا بين تقديم التفاصيل الرياضية، وتوصيل المعلومات بشكل سلس إلى القارئ. إن أسلوبه يأسر القراء بتفاصيل حية حول لحظات التعجُّب الذي تَمَلَّكه، ولحظات الإحباط الذي شعر به، بل وحتى بعض اللحظات القليلة من الإعجاب بالنفس، الذي سمح لنفسه أن يُعَبِّر عنه؛ فعبر صفحات الكتاب، نتعرف على العلاقات المتعمقة والأفكار الجريئة التي أبقت رحلة ستاينهارد في مسارها.

إن هذا السرد المشوق يذكّرنا بأن الإثارة النابعة عن الاكتشافات العلمية ليست مجرد تلك اللحظة التي نصيح فيها قائلين: "وجدتُها.. وجدتُها"، وإنما هي رحلة يميزها الإصرار، والعمل الجماعي، والتفاؤل، والأهم من ذلك كله.. الحظ. في نهاية الكتاب، يتأمل الكاتب في الكويكب «جوليا 89» Julia 89، الذي يدور حول الشمس في مدار بين المريخ والمشتري، وهو كويكب قد يكون مصدر ذلك الحجر النيزكي الذي جاء به القدر. وبهذا.. ينتهي كتاب «النوع الآخر من المستحيل» بما بدأ به.. إمكانية حدوث المستحيل. ■

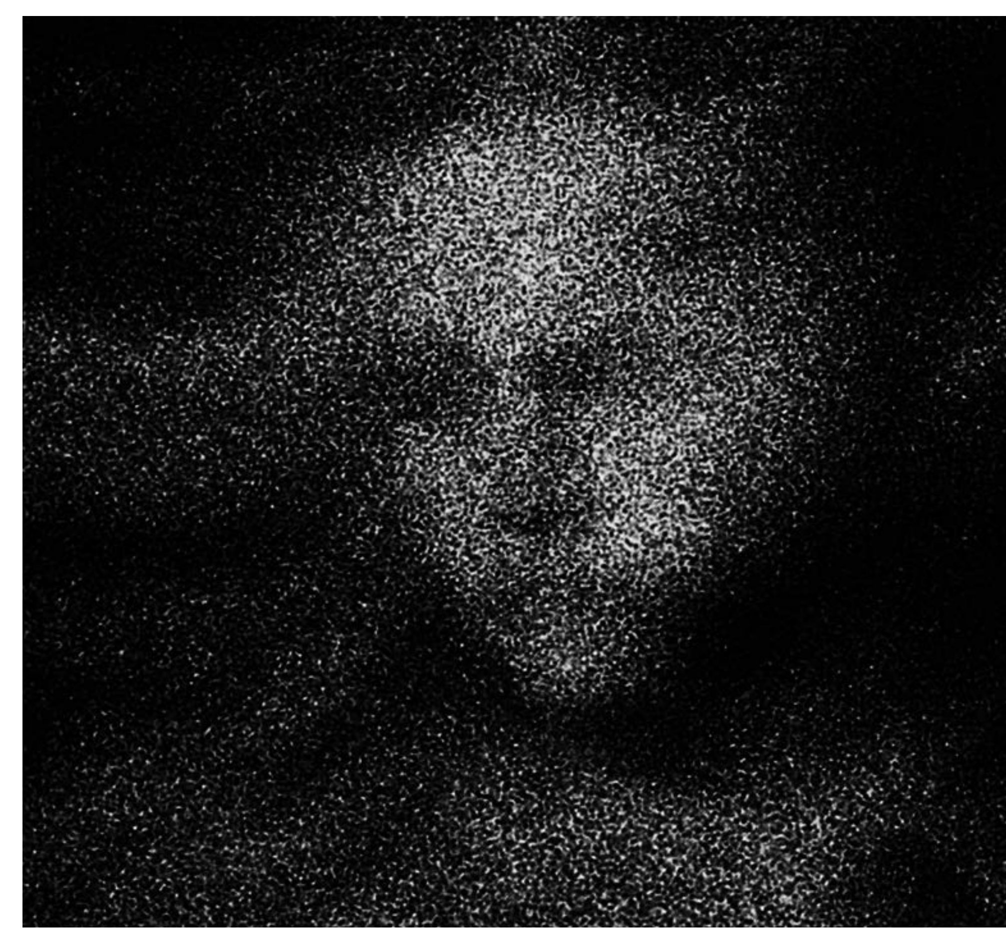
شارون جلوتزر أستاذة في الهندسة، بدرجة أستاذية جون فيرنر كان الجامعية المتميزة لدى جامعة ميشيجان في آن آربر، وتشغل كذلك كرسي أنتوني سي. ليمبكيه، الخاص برئاسة قسم الهندسة الكيميائية.
البريد الإلكتروني: sglotzer@umich.edu



الطب النفسي التطوري

أسس المرض العقلي

أدريان وولفسّن يُقيِّم دراسة عن تأثير التطور في حالات بعينها، مثل الاكتئاب، والقلق.



TRENT PARKE/MAGNUM

رقم 348 صورة من رواية كونديد «امرأة على قارعة الطريق» لترينت بارك (2013).

يتزايد عبء الاكتئاب، وغيره من اضطرابات الصحة العقلية، على مستوى العالم؛ ففي أمريكا الشمالية وأوروبا وحدهما يشكل المرض العقلي نسبة تصل إلى 40% من مجمل السنوات المُهدَرة في الأمراض. وحتى الطب الجزيئي، الذي شهد نجاحًا هائلًا في علاج أمراض، مثل السرطان، فشل في وقف هذا التصاعد. وفي ظل هذا السياق المثير للقلق، صَدَر كتاب محفّز للتفكير، بعنوان «أسباب وجيهة لمشاعرٍ سيئة» *Good Reasons for Bad Feelings*، قَدَّم فيه طبيب النفس التطوري راندولف نيسّ تصورات تعيد طرح الأمراض العقلية بطريقة جذرية.

في رأي نيسّ، تكمن جذور المرض العقلي - مثل اضطرابي القلق والاكتئاب - في الوظائف الأساسية التي نشأت كعناصر أساسية للوظيفة التكيفية السلوكية والمعرفية. وإضافة إلى ذلك، ربما يكون بعض الجوانب العقلية المعطوبة وظيفيًّا قد نشأ نتيجة انتخاب صفات غير ذات صلة بالمرض العقلي، مثل القدرة المعرفية، مثلما تُنتخب صفة طول السيقان في خيول السباق الأصيلة، وفي الوقت نفسه تميل تلك السيقان إلى الضَّعْف. يمكن أن تكون نقاط الضعف الجوهرية في العقل البشري هي الثمن الذي يدفعه البشر مقابل تحسين خصائص أخرى غير ذات صلة.

ظهرت أفكار مماثلة من قبل في سياقات مختلفة. فقد انتقد عالِمَا الأحياء التطورية ستيفن جاي جولد، وريتشارد لوانتن، على سبيل المثال، التسليم الأعمى بالتنظير التطوري «التكيُّفي». ومن خلال بحثهما الكلاسيكي المنشور في عام 1979 بعنوان: «مثلثات سان ماركو، ونموذج بانجلوسي»، اعترض جولد، ولوانتن على الفكرة التي ترى أن كل جوانب الكائن الحي تظهر في أكثر صورة متقنة، بفعل الانتخاب الطبيعي (S. J. Gould *et al*. *Proc*. *R*. *Soc*. *Lond*. B **205**, 581–598; 1979)، وإنما رأيا أن بعض الجوانب هي نواتج بنيوية ثانوية غير مقصودة، تمامًا كمثلثات البناء المنحنية، التي تظهر بين الأقواس التي تدعم القباب في الطرز المعمارية التي كانت سائدة في العصور الوسطى، وعصر النهضة. قد لا تكون لهذه الجوانب مميزات تكيفية ملموسة، بل ربما في الواقع تكون معوِّقة للتكيف. أمكن إثبات حدس جولد، ولوانتن إلى حد ما من خلال علم الوراثة الجزيئية. فهناك أشكال تطوّرية معينة من بروتين جهاز المناعة البدائي المتمم (4 أ) - على سبيل المثال - نشأت لأسباب لا علاقة لها بالوظيفة العقلية، ولكنها مع ذلك ترتبط بزيادة خطر الإصابة بالفصام.

تنازلات وراثية

قبل عقود مضت، استكشف مُنَظِّر التطور، جورج سي. ويليامز، جانبًا قد يكون أكثر جوانب البيولوجيا البشرية إثارة للحيرة، وهو: جُنُوحنا المزعج إلى التقدم في العمر، والموت. أشار ويليامز في عام 1957 إلى أن بعض الجينات المسببة للشيخوخة ربما تطوَّر لأنه كان يعزز اللياقة في وقت مبكر من الحياة (G. C. Williams *Evolution* **11**, 398–411; 1957). يشير هذا الافتراض الذي يُعرف بـ«تعدد النمط الظاهري المناهض» - وهو حالةٍ يتحكم فيها جين واحد في سمة واحدة مفيدة وسمة أخرى ضارة، على الأقل – إلى أن تصميم البُنى البيولوجية هو مسألة تحسين معقدة تنطوي على عدة تنازلات. إن العواطف والجوانب الأخرى من الوظائف العقلية ليست كمكونات الآلة، يملك كل منها وظيفة محددة؛ لكنها على العكس من ذلك، مدمجة في مسارات الكيمياء الحيوية المعقدة والمتداخلة.

في عام 1994، تعاوَن نيسّ مع ويليامز لإصدار كتاب «لماذا نمرض» *Why We Get Sick*، الذي يُعَد الوثيقة الأهم لـ«الطب الدارويني». بلورت أفكار نيسّ وويليامز وجهات نظر جديدة حول أصول الأمراض، حيث افترضا أن هناك أسبابًا "مباشرة" (يحركها التشريح، والكيمياء الحيوية، وعلم وظائف الأعضاء)، وأسبابًا أخرى "مطلقة" أعلى رتبة (تطورية). وقد أشارا إلى أن التطور ينتخب النجاح التكاثري، وليس الصحة والسعادة. ومن هنا، تأتي الأمراض والاضطرابات البشرية. وصف العالِمان أيضًا الطبيعة العشوائية، التي تكون في بعض الأحيان "غير عقلانية"، للإرث البيولوجي، كالأعصاب والأوعية الدموية التي تمر عبر سطح شبكية العين البشرية، في حين لا تملك رأسيات القدم مثلًا هذا «الخلل».

ينطلق كتاب «أسباب وجيهة لمشاعرٍ سيئة» من هذه التصورات. وبتَبَنِّيه وجهة نظر "هندسيةً" حول الأمراض العقلية، يرى نيسّ أن الشعور بالقلق - بالرغم من كونه ظاهريًّا غير مرغوب فيه - عنصر في النظام نافع في مواقف معينة، فهو يقوم، على سبيل المثال، بدور "جهاز إنذار" مبكّر عن الأحداث التي قد تهدِّد الحياة. قد يؤدي الاكتئاب كذلك وظائف تكيفية؛ فقد ناقش الطبيب النفسي أوبري لويس، أن الشخص المكتئب - مِن خلال تعبيره عن معاناته - يمكن أن يدفع الآخرين إلى تقديم المساعدة، من خلال السعي لتوفير الطعام للشخص المكتئب، والأنشطة الأخرى. سبق كذلك طرح فرضية أن السلوك الاكتئابي الذي يُظهِره بعض قرود «الفُرْفُت» (*Chlorocebus pygerythrus*) قد تطوَّر، بغرض التعبير عن فقد المكانة، مما أدى إلى درء هجمات الذكور المسيطرين.

ومن ناحية أخرى، مهما كانت مكوِّنات المرض النفسي نافعة عندما يجري تنظيمها بطريقة ملائمة، فإن المرض النفسي يظل مسببًا للمعاناة، في حين تَنْدُر العلاجات القائمة على الأدلة. وبالفعل، لم يشهد هذا المجال أي قفزات دوائية مهمة لسنوات عديدة، وما زالت الأسباب البيولوجية مراوغة، والعلامات الحيوية غير موجودة.

في الوقت نفسه، يتخبط الطب النفسي - كمجال - بسبب عدم اليقين النظري، فهو لم يصبح تخصصًا فرعيًّا من علم الأعصاب، مثلما كان متوقعًا عند ربط المرض العقلي مباشرةً بالسلوك العصبي، كما أنه من الصعب وصف التباينات الجينية الشائعة ذات التأثيرات الواسعة على الاضطرابات النفسية. وفّرت الإصدارات المختلفة من الدليل التشخيصي والإحصائي للاضطرابات العقلية (*DSM*)، الذي يصدر عن الرابطة الأمريكية للطب النفسي، قَدْرًا من الثبات التشخيصي

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

والتعامل بموضوعية مع الأمراض العقلية، إلا أن الدليل التشخيصي والإحصائي للاضطرابات العقلية نفسه قد أدى إلى تداخل في التشخيصات، كما افتعل قوائم مراجعة مكونة من مجموعات من الأعراض المتداخلة والمتزامنة، بل ووصل الأمر إلى أن الدليل يجور - في بعض الأحيان - على دوائر تحتوي على وظائف نفسية صحية، حتى إن ألين فرانسيس - رئيس فريق العمل الذي كتب الطبعة الرابعة من الدليل في عام 1994 - اعترض بشدة على التشخيص الذهني الخارج عن نطاق السيطرة، في كتابه الصادر في عام 2013 «دي إم إس: لا تفسدوا الطبيعي» *DMS: Saving Normal*.

من التكيف إلى سوء التكيف

يناقش نيسِّ أن نظرية التطور قد تعزِّز ظهور طفرات علاجية، كونها توفر أساس نظري متين للطب النفسي. ويفترض أنها قد تساعد أيضًا على منع الناس من الخلط بين الأعراض النفسية وبين الأمراض، ومن اعتبار عواطف عنيفة، مثل القلق، كنوع من الخلل. يشير نيسِّ أيضًا إلى أن المرض العقلي ربما ينتج عن اضطراب في المُنَظِّمات التي تحافظ على اتزان الجسم، مثل نظام الغدد الصماء. وفي هذه الحالات يمكن أن تتحول وظيفة الأفكار والعواطف التكيّفية إلى حالة من سوء التكيف.

ولعل النجاح المستقبلي للطب النفسي الإكلينيكي يَعتمِد على دمج إطار عمل تطوّري مع تحليلات بيانات تسلسلات الجينوم الكامل؛ فهذا من شأنه أن يساعد على تحديد الطفرات التي تجعل الناس أكثر عرضة للأمراض العقلية. ونظرًا إلى التأثيرات الضئيلة للجينات الفردية، والآليات المتنوعة المصطلعة في هذا، فلا بد من تحليل جينومات مئات الآلاف من الناس. وكنتيجة للتشابك الكثيف، والمتناقض في كثير من الأحيان، الذي تتسم به الشبكات الجينية، فإن العلاجات المستقبلية قد تتطلب بالضرورة تعديل دوائر عقلية وراثيًّا؛ لتحريرها من القيود التطورية الجامدة.

"التطور يختار النجاح التكاثري، وليس الصحة والسعادة."

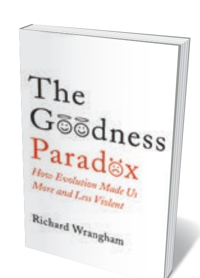
في كتابه «ثيوديسيا» *Theodicy*، الصادر في عام 1710، يناقش الفيلسوف الألماني جوتفريد لايبنز أن الله، بما أنه كُلّي العلم، قد خلق بالتأكيد أفضل العوالم التي يمكن أن تُخلق. وبعدها بخمسين عامًا، سَخِر فولتير في روايته «كانديد» *Candide* من لايبنز، من خلال شخصية دكتور بانجلوس، الذي كان يرى أن العيوب الموجودة في العالَم ضرورية، كالظلال المتضادة في اللوحات الفنية.

وبعيدًا عن القراءات الساخرة، ربما ثبت الآن أن تفاؤل الفيلسوف له أصداء منطقية في علومنا المعاصرة. وكما يَفترِض بوضوح كتاب «أسباب وجيهة لمشاعرٍ سيئة»، فإن كثيرًا من المكونات الرئيسة المعطوبة، المتعلقة بالمرض العقلي، هو الذي في النهاية يساعدنا أن نكون بشرًا. ■

أدريان وولفسَن مؤلف كتاب «الحياة بدون جينات» *Life Without Genes*
البريد الإلكتروني: adrianwoolfson@yahoo.com

أسباب وجيهة لمشاعرٍ سيئة
آراء على حدود علم النفس التطوري
د. راندولف إم. نيسّي
دار نشر داتون (2019)

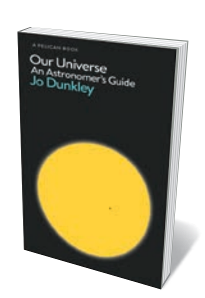
ملخصات كتب



مفارقة الخير

ريتشارد رانجهام، دار نشر «بروفايل»، 2019

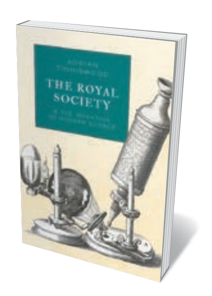
يتذبذب الإنسان العاقل المعاصر من جنس (*Homo sapiens*) - دون توقف - بين التسامح، والعدوانية. وقد أَعَدّ ريتشارد رانجهام - عالِم الرئيسيات - بحثًا مشوقًا في علم الوراثة، وعلم الأعصاب، والتاريخ، وغيرهم من العلوم؛ لكي يحلل طبيعتنا المتناقضة. وتغطي دراسته المتأنية واضحة الأفكار أنواع العنف، وتطور القيم الأخلاقية، ومشكلة الطغاة الأزلية، ومشكلة "الإفلات من العقاب بعقد التحالفات" في الحروب. ويسوق الحجج على أن النزعة إلى العنف الوسيلي، التي تشكلت من خلال توطين الذات على التعايش المشترك، واللغة، والانتخاب الجيني، تشير إلى نوعنا السلمي في المقام الأول. فنحن البشر نميل بشكل فريد إلى تطويع التحالفات لغايات تنم عن قسوة ورحمة على حد سواء.



عالَمنا: دليل عالم الفلك

جو دانكلي - دار نشر «بليكان»، 2019

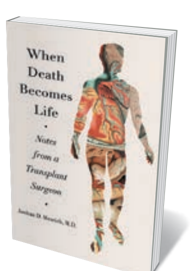
لطالما مَثَّلَت مراقبة السماء هوسًا للإنسان، يُستدل على ذلك بدءًا من عظام ما قبل التاريخ، التي نُقِشَت عليها أطوار القمر، إلى المجموعة المتنوعة الحالية من البعثات الفضائية، والتليسكوبات. يضم هذا الدليل العبقري للكون بين دفتيه اكتشافات لا حصر لها. تبحر عالمة الفيزياء الفلكية جو دانكلي سريعًا من الأرض إلى حدود الكون المرصودة، ثم تستكشف دورات الحياة النجمية، والمادة المظلمة، والتطور الكوني، وتاريخ الكون من الألف إلى الياء. ورواياتها عن عالِم الفلك الفارسي عبد الرحمن الصوفي، الذي عاش في القرن العاشر، وعن باحثي القرن العشرين، والقرن الواحد والعشرين؛ سوبرامانيان تشاندراسيكار، وجوسلين بيل بورنيل، وفيرا روبين، وغيرهم الكثيرين، لا تقل تشويقًا.

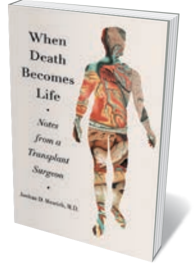


الجمعية الملكية

أدريان تينيسوود، دار نشر «هيد أوف زيوس»، 2019

في عام 1660، التقى 12 رجلًا في لندن؛ بهدف تطوير «جوانب مختلفة من التعليم». وكان من بينهم العالِم الشغوف بالتجارب روبرت بويل، وعالِم التشريح، والفلك، والمهندس المعماري الناشئ كريستوفر رين. وشكل ذلك اللقاء - في جوهره – ميلاد الجمعية الملكية، التي اعتُمِدَت عام 1662، ولم تلبث أن أصبحت الهيئة العلمية الأبرز في بريطانيا. ويستكشِف المؤرخ أدريان تينيسوود الأحداث البارزة في تاريخ هذه الجمعية، بدايةً من تأسيس دورية «فيلوسوفيكال ترانزاكشنز» *Philosophical Transactions* إلى لائحة رؤساء الجمعية البارزين، حتى بزوغ نجم عالمة الكيمياء الحيوية مارجوري ستيفنسون، وعالمة البلورات كاثلين لونسديل في عام 1945، كأول عالمتَين تنضمان إلى زمالة الجمعية.

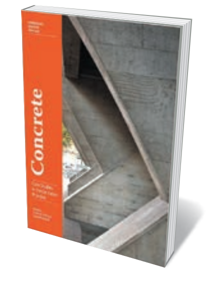




عندما يصبح الموت حياة

جوشوا دي. ميزريتش، دار نشر «هاربر»، 2019

يعيش جراحو زراعة الأعضاء حياة منقسمة بين عالمين، إذ يعملون على الحدود المبهمة بين الحياة، والموت. يغوص بنا سرد جوشوا ميزريتش – الذي لا يعرف القيود - في رحلة بين هاتين الحقيقتين المزدوجتين، فهو يكشف الحقائق العارية وراء شراء أعضاء المتبرعين؛ بما فيها كل الأكباد المثلجة، وشلالات الدماء، وجراحات «حصاد» الجلد من ناحية، والمراحل الطبية، والعاطفية، التي يمر بها المرض الخاضعون للزراعة من ناحية أخرى. وينسج جوشوا داخل هذا السرد قصة تدريبه الشخصي، والتطور متعثر الخطى في هذا المجال، على أيدي شخصيات بارزة ومثابِرة، مِن أمثال روي كالني. إنها حكاية تتسم بالعمق، تمتلئ بالقلوب، والعظام، والقصص عن البراعة الجراحية، و«شبكة زراعة الأعضاء»، التي تربط بين أشخاصٍ مِن الممكن ألّا يلتقوا أبدًا.



الخرسانة: دراسات حالة في ممارسات الحفظ

المحررتان: كاثرين كروفت، وسوزان ماكدونالد، دار نشر «جيتي»، 2019

تُعتبر الخرسانة المرنة، والديناميكية، والمنتشرة في كل مكان، بمثابة المادة المميِّزة للهندسة المعمارية الحديثة. يخلق هذا الإرث تحديات فريدة في مجال الحفظ. وفي هذا الإصدار المجمع والمنقح، تتناول المتخصصتان كاثرين كروفت، وسوزان ماكدونالد 14 مشروعًا من هذه المشروعات؛ بداية من مرايا التصنت بين عامي 1928-1930 (أجهزة صوتية للإنذار المبكر؛ لرصد طائرات العدو) في كِنت بالمملكة المتحدة، إلى صالة نيويورك الشهيرة للعلوم للمعماري والاس هاريسون في عام 1964. ويستعرض هذا الكتاب تقنيًا – لكن بأسلوب مشوق في الوقت ذاته – الصدام بين العلم، والثقافة المادية. **باربرا كايزر**

استدامة

الإهدار المستمر للمياه

مارجريت كاتلي-كارلسون تطرح تأملاتها في آلاف السنوات من سوء إدارة الموارد.

في كل عام، يؤثر نقص المياه في أكثر من ثلث سكان العالم. وحتى مدينة روما، التي كانت قديمًا رائدة في توفير إمدادات المياه في المناطق الحضرية، شهدت في عام 2017 إغلاق نوافير مياه الشرب العامة التي لا تُعَد ولا تُحصى بها. يغوص عالِم الاقتصاد البيئي إدوارد باربييه في أعماق مثل هذه القصص وغيرها من قصص عالَم إدارة المياه الرائع، المشحون في معظمه، ماضيه وحاضره، من خلال دراسته الأكاديمية - السلسة في الوقت نفسه - في كتابه «مفارقة المياه» *The Water Paradox*. ويدرس باربييه أيضًا التهديدات الوشيكة المتعلقة بموارد المياه.

المفارقة هي أنه على الرغم من وجود أدلة علمية كثيرة على إساءة استغلال المياه العذبة، واستهلاكها بشكل مفرط، وعلى الرغم من وجود وفرة في الثروات والمعارف والنفوذ المؤسسي، غير أنّ البشرية خلقت أزمة مياه، كان من الممكن تجنبها. إننا نُصِرّ على إساءة استغلال المياه العذبة، كما لو كانت موجودة بوفرة، حتى مع إدراكنا لندرتها. وبحلول عام 2040، سوف يتأثر مليارا شخص بأزمة المياه الجوفية على مستوى العالم (أزمة سحب المياه من الأرض بمعدلات تتجاوز معدلات إعادة امتلاء مستودعات المياه الجوفية). وسوف تكون إندونيسيا، وإيران، وجنوب إفريقيا من بين الدول التي ستعاني من إجهاد مائي شديد، أو بمستويات مرتفعة. وسوف يكون الضغط الناشئ عن ذلك ضغطًا بيئيًّا وزراعيًّا، وسوف يؤدي بالتالي إلى اشتداد حدة الأزمات الاجتماعية والاقتصادية.

وإذا تداعى جزء كبير من عالَمنا، لأننا لم نستطع إحداث تغيير، فلن يكون ذلك بسبب افتقارنا إلى التحذيرات التي تردنا من التاريخ؛ فقد سبق أن تحولت مجتمعات، ومناطق، ومدن تماثل في سيادتها الدول، إلى أنقاض، أو مجرد كومة من أوراق النباتات الجافة، بسبب سوء الإدارة البيئية. وقد يتكرر هذا السيناريو مجددًا.

ولِفَهْم الكيفية التي حدث بها ذلك، يتعمق باربييه في دراسة آلاف السنوات من سوء استغلال الموارد. ويقدم استقصاءً بشأن ممارسات الري والزراعة في الحضارات القديمة بالشرق الأوسط، والصين، وأوروبا، وغيرها من الحضارات، مستشهِدًا بـ«الفرضية الهيدروليكية» التي وضعها المؤرخ كارل فِيتفوجل، الذي عاصر بدايات القرن العشرين (.P Ball *Nature* **564**, 186–188; 2018)، التي تقول إنّ أقدم الإمبراطوريات التي اعتمدت على الزراعة، مثل حضارة السومريين، قامت بالسيطرة على مصادر المياه، لكنها كانت تميل إلى الإسراف في استخدامها؛ وهو ما جعل هذه الحضارات عرضة للتدهور البيئي، وهجوم أعداء خارجيين.

تشمل الأمثلة الأحدث على ذلك «سباقات تَمَلُّك الأراضي» التي استحوذت على أستراليا، ونيوزيلاندا، وجنوب أفريقيا، وقارة أمريكا الشمالية منذ عام 1650، حتى عام 1900. ويوضح باربييه أن هذه التوسيعات الشاسعة للحدود، والزيادات الكبيرة في المكاسب الاقتصادية اعتمدت بشكل هائل على ادعاء الأحقية بالحصول على المياه «مجانًا». ولا تزال هذه الممارسة قائمة؛ فالأسواق تقلل - بشكل عام - من قيمة البحيرات، والممرات المائية، ومستودعات المياه الجوفية، التي تُعَد سلعًا ذات ملكية عامة. وأحد الآثار المترتبة على ذلك، كما لاحظ باربييه، نشأة



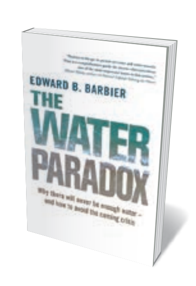
سكان من مدينة كيب تاون بجنوب أفريقيا يصطفون، لإعادة ملء الزجاجات، خلال موجة من نقص إمدادات المياه، حدثت في عام 2018.

MORGANA WINGARD/GETTY

سلوك، شعاره "عدم استخدام المورد يؤدي إلى خسارته" وهو سلوك يشجع النزعة الإقليمية (Territoriality)، ويحث - في نهاية المطاف - على شن حروب المياه.

يدعو باربييه إلى وضع حد للسياسات، والأسواق، وأساليب الحوكمة، التي تؤدي إلى التسعير المتدني للمياه، وتسمح باستخدامها كما لو كانت موجودة بوفرة. ويسوق الأدلة على أنّ إبداعاتنا موجَّهة - في الغالب الأعم - إلى زيادة الاستهلاك، وليس تقليله.

يبرهن باربييه على وجهة نظره بشكل بليغ، ويقدم في هذا السياق نبعًا من الحقائق والأرقام. وقد انبهرت بعشرات القوائم والجداول والملخصات العلمية التي يدرجها والتي تتناول التاريخ، أو المشكلات الحالية، أو الأدوات التي يمكن استخدامها لإيجاد حلول تتعلق – على سبيل المثال – بأنواع أسواق المياه التي تجلب معها منافع ومخاطر على حد سواء. وقد شمل ما أدرجه أحواض الأنهار التي تتهددها الصراعات المستقبلية، ومشكلة استنزاف المياه الجوفية، في الوقت الحالي وفي المستقبل القريب، وجهات الاستيلاء على المياه، وضحايا هذا الاستيلاء، وغيرها الكثير.



مفارقة المياه: التغلب على الأزمة العالمية في إدارة المياه
إدوارد بي. باربييه
مطبعة جامعة ييل (2019)

إلا أن هذا الكتاب احتوى على ثلاث ثغرات رئيسة: أولًا، يُلاحَظ أنّ باربييه واضح ومستفيض للغاية، لدرجة أنني تمنيتُ حقًّا أن يتناول المفارقة نفسها؛ وهي عجْزنا الواضح عن تجنب مصدر تهديد وجودي، منشأه البشر أنفسهم. فَتّشتُ في الكتاب عن بصيص يضيء الطريق إلى الأمام، أو عن مخرج – كان قد ظل خافيًا حتى الآن - من حالة الشلل السياسي التي نعانيها، أو عن خللٍ نفسي يمكن إصلاحه. بحثتُ عن أي ذِكْر لفلاسفة أو متخصصين في علم النفس الاجتماعي، يمكنهم اقتراح وسائل لإيقاظ العالَم النائم، في وقتٍ يرتفع فيه منسوب المياه وينخفض، لكنّ باربييه آثر الصمت فيما يخص هذه النقطة الأساسية.

ثانيًا، يكاد باربييه يغفل تمامًا الحديث عن المعارضة العامة المستمرة لمعظم الإجراءات التي يقترحها (مثل التصدي للمشكلة المزمنة الخاصة بتسعير الماء بشكل يبخس من قيمته)، التي تغذيها عوامل معينة، مثل الرغبة في تجنب دفع الضرائب. إن الزيادات الكبيرة في أسعار المياه، وفي عدد أسواق المياه، وأساليب الحوكمة التي تنطوي على هيمنة أكبر من جانب القطاع الخاص، تُعَد مثار استياء في منظور الكثيرين (M. Catley-Carlson *Nature* **505**, 288–289; 2014).

خلال العقد الأول من القرن الواحد والعشرين، تمت ملاحقة شركات كبيرة، وأطراف فاعلة أخرى؛ لإجبارها على التنحي عن إدارة أصول المياه، وجرى توجيه انتقادات إلى هذه الجهات من جانب عدد من المنظمات غير الحكومية، ومن قِبَل اليسار السياسي، والاتحادات العمالية. تُعَد هذه الحركة ذات القواعد الشعبية جزءًا من مَدّ أكبر من الحركات المقاومة للعولمة والشركات متعددة الجنسيات. وقد أثّرت تلك الحركة في رأس المال المتاح للاستثمارات، وعلى توجهات البنك الدولي في الإقراض، وعلى قطاعات كبيرة من الرأي العام. وبالتالي، ما يوصي به باربييه هو في واقع الأمر – وإنْ لم يكن هذا مقصده في الأصل – نهج سيؤدي بشكل شبه مؤكد إلى وقوع خلافات، وهو ما يجعله نهجًا إشكاليًّا للحكومات. وكذلك يغيب عن الطرح الذي يقدمه باربييه بعض الخطوات غير الحصيفة المتخذة من قبل بعض الشركات، والتي تسببت في اندلاع احتجاجات ناجحة.

"الأسواق تقلل من قيمة البحيرات والممرات المائية ومستودعات المياه الجوفية، التي تُعَد سلعًا ذات مِلْكية عامة".

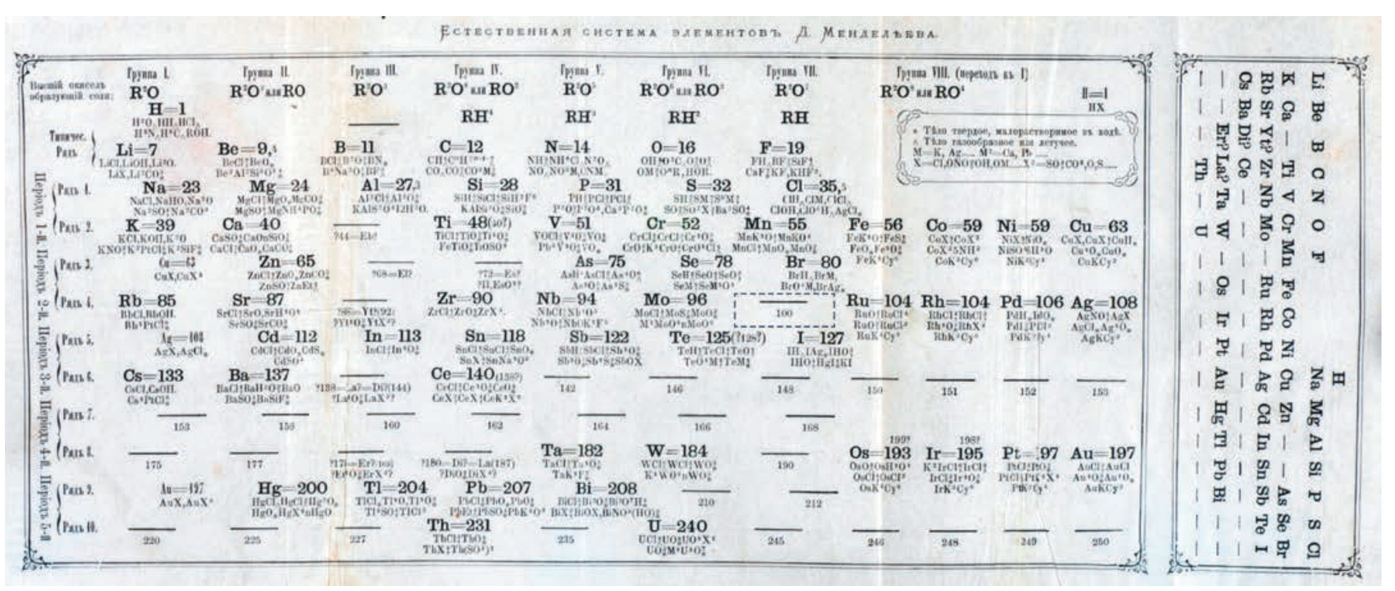
ثالثًا، يتجاهل باربييه التنافر الواقعي جدًّا بين بعض اقتراحاته المعقولة من جهة، وعدم قدرة بلدان عديدة – من الناحية الاقتصادية، والنواحي المتعلقة بالبِنْية التحتية، والإجراءات الحكومية – على تنفيذ هذه الاقتراحات من جهة أخرى. ويقر باربييه بعدم التوافق القائم بين أسلوب حوكمة المياه، والمؤسسات المعنية بالمياه، وبين احتياجاتنا. وإذا كان مفترَضًا لهذا الكتاب أن يكون كتابًا موجَّهًا إلى العالَم بأسره، فإن هذا المسار المليء بالعقبات، كان يحتاج إلى المزيد من الاهتمام، (بل ولعله يحتاج إلى قائمة بالاشتراطات الواقعية اللازمة للإصلاح). وبرغم أن باربييه قام بتغطية موضوع تحلية المياه بشكل جيد، فإنّ العديد من أنواع المعالجة الأخرى لم تُقدم تقريبًا حتى لمحة عنها، مثل إعادة استخدام المياه، وإعادة معالجة مياه الصرف، واستخلاص الموارد من مياه الصرف الصناعي ومياه الصرف المنزلي.

ومع ذلك، يُعتبر الكتاب خاليًا من الرطانة، وسهل القراءة، يُفَصِّل ببراعة المشكلات وعلاجاتها. أعود إلى كلمات باربييه عن نافورات روما. إن إدراك أنّ عام 2017 شهد لأول مرة منذ 2000 سنة إغلاقًا لهذه التحف الفنية في الهندسة المائية استجابةً لظروف الجفاف، كان أمرًا مثيرًا لدموع الحزن والإحباط. نعلم أن ما نخشاه يحدث، ولكننا لا نفعل شيئًا حياله، وهذه هي المفارَقة.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

أبحـــاث

أنباء وآراء



الشكل 1 | الجدول الدوري لمندلييف. عندما ابتكر مندلييف جدوله الدوري قبل 150 عامًا، ترك فراغات للعناصر التي كان يعتقد أنها مفقودة. والفجوة المحاطة بالمربع المنقوط هي للعنصر ذي العدد الذري 43. وفي عام 1937، اكتشف كل من كارلو بيرييه، وإيميليو سِيجْري[3] هذا العنصر، المعروف الآن باسم التكنيشيوم.

لمحة من الماضي

أول عنصر اصطناعي

عندما طرح مندلييف جدوله الدوري في عام 1869، لم يكن العنصر ذو العدد الذري 43 معروفًا. وفي عام 1937، أصبح أول عنصر يُكتشف من خلال التصنيع في المختبر ممهِّدًا الطريق أمام العصر الذري.

كيت شابمان

في عام 1937، وصل لوح من عنصر الموليبدنوم إلى جامعة باليرمو في مدينة صقلية. وكان قد أُرسل من جامعة كاليفورنيا في بيركلي، حيث كان ضمن أجزاء "محطِّم الذَّرّة" الذي صممه إيرنست لورانس، أحد أول مسرعات الجزيئات، المعروف باسم "سِّيكلوترون الـ37 بوصة". واحتوى ذلك اللوح على الحلقة المفقودة الأهم في عالَم الكيمياء.

وكان العنصر ذو العدد الذري 43 – الذي سُمِّي مؤقتًا "تحت - المنجنيز" 'Eka-manganese' قبل اكتشافه – بمثابة إحدى الثغرات في الجدول الدوري الذي وضعه ديمتري مندلييف في عام 1869. وعلى الرغم من وجود محاولات سابقة لترتيب العناصر الكيميائية، رتّب مينديليف جدوله حسب الكتل الذرية للعناصر، وخصائصها، وترك فراغات عندما أدرك أن هناك عناصر معينة مفقودة (الشكل 1). ومُلئ معظم تلك الفراغات تدريجيًّا، مما أثبت صحة أفكار مندلييف. وبحلول ثلاثينيات القرن العشرين، كان أبرز العناصر الأساسية التي لا تزال مفقودة هو "تحت - المنجنيز". ولطالما سعى الباحثون إلى اكتشاف هذا العنصر بَعِيد المنال، ولكن ثبت خطأ جميع هذه المزاعم. والآن، في باليرمو، حان الدور على عالِم الفيزياء الإيطالي إيميليو سِيجْري في المحاولة.

برغم عمره الذي لم يتجاوز 32 عامًا، ذاع صيت سِيجْري في اكتشافات العناصر. ولكونه يهوديًّا من السفارديين، وابنًا لصاحب مصنع للورق في تيفولي، تدرب كعالِم فيزياء على يدي إنريكو فيرمي، قبل أن يغادر، ليصبح ضابطًا في قوات الدفاع الجوي في صفوف الجيش الإيطالي. وبحلول عام 1929، عاد مجددًا إلى فيرمي، كواحد من مجموعة "شباب فيا بانيسبيرنا" Via Panisperna Boys، وهي مجموعة من العلماء الفقراء، من ذوي الدخول المحدودة، ويفتقرون إلى المعدات الحديثة؛ وعُين فيها أشقاءُ العلماءِ الأصغرُ سنًّا؛ لحمل الأجهزة، والأدوات المصنوعة يدويًّا، وكان الباحثون يضطرون إلى الاختباء في نهاية ممر؛ لحماية أنفسهم من الإشعاع[1]. وبالرغم من الصعوبات التي واجهوها، وَسَّع فريق فيرمي، في عام 1934، من نطاق حدود جدول مندلييف.

وفي فرنسا، أثبت فريديريك، وإيرين جوليو كوري أنه يمكن تحويل عنصر إلى آخر، باستخدام إشعاع مستحث صناعيًّا. وخَطَا فيرمي، وسِيجْري، وبقية العلماء الشباب بهذه الفكرة خطوة أخرى إلى الأمام، عن طريق قصف عينة من اليورانيوم – العنصر ذي العدد الذري 92، أثقل عنصر معروف آنذاك – بحزمة أشعة

نيوترونية يدوية الصنع. وبفعلهم ذلك.. بدا[2] أن فيرمي قد صنع العنصرين (93، و94).

وكان سِيجْرِي يأمل أن يكون لورانس قد صنع - عن غير قصد - عنصرًا آخر، نتيجة استخدام الموليبدنوم داخل السيكلوترون الخاص به، حيث إن الموليبدنوم هو العنصر ذو العدد الذري 42؛ وإذا تسارعت نظائر الهيدروجين الثقيلة (الديوتريوم) نافذة عبر السيكلوترون الخاص بلورانس، وأطلقت إشعاعات على لوح من الموليبدنوم، فقد يحتوي هذا اللوح على بضع نقاط من عنصر "تحت - المنجنيز". وطلب سِيجْرِي من لورانس أن يرسل إليه أيّ قطع غيار أصبحت نشطة إشعاعيًّا. ووافق لورانس بكل سرور، لأنه لم يجد فائدة من ذلك المعدن المتهالك.

وأجرى سِيجْرِي تحليلًا كيميائيًّا للوح، بمساعدة زميله كارلو بيرييه، حيث استخلص عنصرًا غير معروف، عن طريق تسخين عينة مع هيدروكسيد الصوديوم، وبيروكسيد الهيدروجين[3،4] حتى الغليان. وكانت هذه المرة الأولى التي يصبح فيها العنصر ذو العدد الذري 43 في متناول الأيدي. وبوجوده، حُل اللغز الكامن وراء بقاء هذا العنصر مجهولًا؛ حيث كان "تحت - المنجنيز" عنصرًا غير مستقر، ذو عمر نصف إشعاعيّ يبلغ بضعة ملايين من السنين، وأيّ عينة كانت موجودة بشكل طبيعي عندما تشكلت الأرض، ستكون قد تحللت منذ دهور.

وكانت قصة العنصر الجديد مجرد بداية، ففي شهر يونيو من عام 1938، توجه سِيجْرِي إلى بيركلي؛ لمواصلة بحثه. وبينما كان في طريقه، سَنّت حكومة موسوليني الفاشية قوانين تحظر على اليهود شَغْل مناصب جامعية في إيطاليا. وراسَل سِيجْرِي - الذي وجد نفسه محاصَرًا في كاليفورنيا – عائلته، مستدعيًا إياها، حيث حصل على إقامة دائمة. وهناك، عملَ مع عالِم الكيمياء الشاب، جلين سيبورج، على فصل نظير غير تقليدي وشبه مستقر من عنصره الجديد[5].

وبعد فترة وجيزة، وصل نبأن: ففي شهر نوفمبر، فاز فيرمي بجائزة نوبل؛ لاكتشافه عناصر أثقل من اليورانيوم. واستغل فيرمي - الذي كانت زوجته يهودية الديانة - الجائزة كذريعة للهروب من إيطاليا أيضًا. وبعد شهرين، تواترت أنباء من ألمانيا، مفادها أن "عناصر" فيرمي كانت خطأ، فقد أثبتت مجموعةٌ قادها أوتو هان، وليز مايتنر، أن اكتشافات فيرمي كانت نتيجة لانشطار الذَّرة، وربما كانت بمثابة باريوم، وكريبتون، وشظايا من عناصر أخرى[6]. وسيؤدي هذا الاكتشاف - في نهاية المطاف - إلى تطوير أسلحة نووية - ويعني ذلك أن "تحت - المنجنيز" الذي اكتشفه سِيجْرِي، وبيرييه كان أول عنصر اصطناعي حقيقي. وفي عام 1947، أي بعد عشر سنوات من اكتشافه، أطلقا عليه اسم "التكنيشيوم"، وهذه الكلمة مشتقة من كلمة "تكنيتوس" technetos، ومعناها باللغة اليونانية "صناعي"[7]. وبحلول ذلك الوقت، كانت جميع الأماكن الفارغة الأخرى في جدول مندلييف قد مُلِئت، مع إسهام سِيجْرِي أيضاً في صنع العنصر ذي العدد الذري 85، الأستاتين.

فتحَتْ العناصر المُصنعة داخل المختبر المجالَ أمام البحث عن عناصر أثقل من اليورانيوم (عناصر التالية لليورانيوم). وفي عام 1939، فاتَح إدوين ماكميلان - الباحث في جامعة بيركلي - سِيجْرِي بشأن ذَرّة غير تقليدية، كان قد اكتشفها داخل السيكلوترون، والتي يعتقد أنها عنصر جديد، إلا أن سِيجْرِي رفض هذه النتائج، بل وصل الأمر إلى كتابة بحث[8] بشأنها، بعنوان: "عملية فاشلة للبحث عن عناصر التالية لليورانيوم".وفي الواقع، كان ماكميلان قد اكتشف العنصر ذا العدد الذري 93، الذي أطلق عليه اسم "النبتونيوم". وفي فبراير 1941، اكتشف سيبورج العنصر ذا العدد الذري 94، بعد استلامه مهام أعمال ماكميلان. وبمساعدة سِيجْرِي، سرعان ما أثبت سيبورج أنه يمكن استخدام عنصره الصناعي – البلوتونيوم – في صنع قنبلة ذرية. وكان ذلك أول عنصر من عشرة عناصر اصطناعية سيكتشفها؛ وسُمي عنصر آخر، السيبورجيوم (العنصر ذو العدد الذري 106)، على اسمه؛ تكريمًا له.

لقد أثبت عنصر التكنيشيوم أن استكشاف الجدول الدوري لم يقتصر على العناصر الموجودة على كوكب الأرض. واليوم، وَسّعْنا حدود الجدول، حتى وصلنا إلى العنصر ذي العدد الذري 118 فائق الثقل "أوجانيسون". وتزامن ظهور العناصر الجديدة مع ظهور استخدامات لم تكن تخطر على بال كثيرين، مثل أجهزة الكشف عن الدخان، وأجهزة توليد الطاقة اللازمة للمسابير الفضائية، والأسلحة الأكثر فتكًا على الإطلاق. ويمكن القول إن أكبر اكتشاف لا يزال هو عنصر التكنيشيوم، والنظير شبه المستقر للعنصر الذي اكتشفه سِيجْرِي مع سيبورج. ومع فترة نصف عمره القصيرة، البالغة ست ساعات، فإنه يُعتبر واسمًا إشعاعيًّا مثاليًّا. والآن، يُعتبر التكنيشيوم النظير المشع الأكثر استخدامًا في مجال الطب عالميًّا (go.nature.com/2t4iqq8)، نظرًا إلى استخدامه في 80% من عمليات العلاج في مجال الطب النووي، ومساعدته على إنقاذ ملايين من الأرواح كل عام. وهو ليس إنجازًا هينًا بالنسبة لعنصر اكتشفناه لأول مرة في لوح معدني متهالك. ■

كيت شابمان كاتب علمي، يعيش في كامبريدج بالمملكة المتحدة، وسوف يُنشر كتابه تحت عنوان: "العناصر فائقة الثقل: بناء وهدم الجدول الدوري" *Superheavy: Making and Breaking the Periodic table* في شهر يونيو من العام الجاري (2019).

1. Fermi, L. *Atoms in the Family: My Life with Enrico Fermi* (Univ. Chicago Press, 1954).
2. Fermi, E. *et al. Nature* **133**, 898–899 (1934).
3. Perrier, C. & Segrè, E. *Nature* **140**, 193–194 (1937).
4. Scerri, E. *A Tale of Seven Elements* (Oxford Univ. Press, 2013).
5. Segrè, E. & Seaborg, G. T. *Phys. Rev.* **54,** 772 (1938).
6. Hahn, O. & Strassmann, F. *Naturwissenschaften* **27**, 11–15 (1939).
7. Perrier, C. & Segrè, E. *Nature* **159**, 24 (1947).
8. Segrè, E. *Phys. Rev.* **55**, 1104 (1939).

الإنفلونزا

لقاح شامل لمكافحة سلالات الإنفلونزا المختلفة

العلماء يصممون أجسامًا مضادة لتتعرف على مختلف سلالات فيروس الإنفلونزا، بما فيها كلًّا من النوعين "أ"، و"ب" من الفيروس، اللذين يتسببان في حدوث أوبئة بشرية. فهل نقترب من تحقيق حماية "شاملة" ضد كل سلالات الإنفلونزا؟

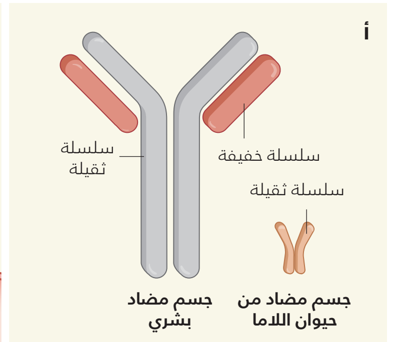
جاري چيه نابل، وچون دبليو شيفر

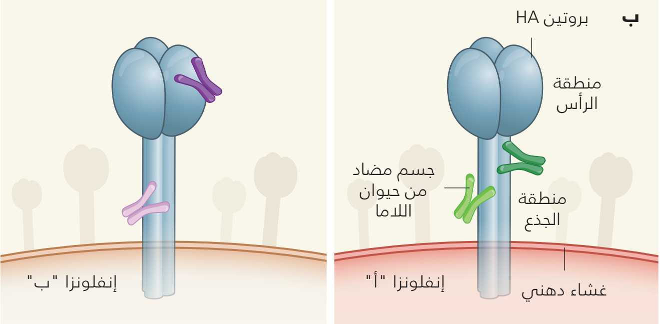
حصدت الحرب العالمية الأولى - أحد أكثر صراعات العالم دموية - أرواح ما يقرب من 20 مليون شخص. إلا أنه في العام الذي انتهت فيه الحرب، اجتاحت العالَمَ فاجعة أكثر فتكًا، إذ يُقَدَّر أن جائحة فيروس الإنفلونزا لعام 1918 قد أودت بحياة ما بين 50 إلى 100 مليون شخص[1]. وفي غضون عدة شهور، كان وقع فيروس بسيط على حياة البشر أكبر بكثير مما خلّفته الحرب الدامية التي استمرت 4 أعوام. ومع أن لقاحات الإنفلونزا تنقذ أعدادًا لا تحصى من الأرواح في وقتنا الحالي، وساعدت - بدون شك - على تجنب جوائح عالمية أخرى، فإن تصنيعها يجب أن يختلف سنويًّا؛ ليتماشى مع السلالات الفيروسية المنتشرة. وتستمر الإنفلونزا في تشكيل تهديد على صحة البشر، وثمة حاجة مُلحة إلى تطوير تدابير وقائية يمكنها توفير حماية شاملة ضد سلالات الإنفلونزا المختلفة. ناهيك عن أن اللقاحات عادة ما تكون أقل فعالية في توفير الحماية للأطفال، ولكبار السن، مقارنة بالحماية التي توفرها لباقي البشر[2].

أعلن لورسن وزملاؤه في دورية «ساينس» *Science* عن تصميم أجسام مضادة، تمنح الفئران حماية ضد سلالات مختلفة من فيروس الإنفلونزا، وتوفر – بشكل خاص - حماية ضد معظم السلالات الفيروسية التي تنتمي إلى النوعين الرئيسين اللذين يصيبان البشر: إنفلونزا "أ"، وإنفلونزا "ب". ولطالما اعتُبر توفير هذه النوعية من الحماية واسعة النطاق أمرًا صعبًا، لأن كلًا من نوعي الإنفلونزا "أ"، و"ب" يتكون من سلالات فيروسية متنوعة، واعتُبر بلوغ وقاية "شاملة" هدفًا بعيد المنال. وإذا كان نهج المؤلفين قابلًا للاستخدام الفعال على البشر، فربما يساعد ذلك على منع انتشار حالات العدوى بالإنفلونزا الجديدة والمتطورة، في جميع أنحاء العالم، أو احتوائها.

وإبان جائحة عام 1918، لم يكن سبب المرض معروفًا. وإذا أتيح لقاح آنذاك، كان سيخفف - على الأرجح - من وطأة الكارثة العالمية. ورغم ذلك، فإن تطوير لقاح فعال للإنفلونزا ليس أمرًا بسيطًا، لأن فيروسات الإنفلونزا يمكن أن تتحور سريعًا[4]. ويتسبب

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية





شكل 1. أجسام مضادة مُعدَّلة تستهدف سلالات متنوعة من فيروس الإنفلونزا. أعلن لورسن وآخرون[3] عن تطوير أجسام مضادة، بإمكانها تقديم حماية واسعة النطاق ضد سلالات الإنفلونزا عند اختبارها في الفئران. أ. عدّل الباحثون أجسام مضادة، اعتمادًا على أجسام مضادة مأخوذة من حيوان اللاما (*Lama glama*)، أصغر حجمًا من الأجسام المضادة البشرية. وتحتوي الأجسام المضادة لحيوان اللاما - على غرار الأجسام المضادة البشرية – على مناطق تُعرف باسم «السلاسل الثقيلة»، ولكنها تفتقر إلى بنى يُطلق عليها «السلاسل الخفيفة». ب. قيَّم الباحثون الأجسام المضادة لحيوان اللاما، التي تستهدف بروتين الهيماجلوتينين، ويُعرف اختصارًا بـ(HA)، الموجود على سطح فيروس الإنفلونزا. وأتاحت التحاليل داخل المختبر التعرف على أجسام مضادة تقدِّم حماية قوية ضد الفيروس، وعزل الباحثون الأجسام المضادة التي استهدفت المجموعتين الرئيسيتين من فيروس الإنفلونزا؛ إنفلونزا "أ" (الأجسام المضادة الملونة بالأخضر)، والإنفلونزا "ب" (الأجسام المضادة الملونة بالبنفسجي). وحدد التحليل البنيوي ما إذا كانت الأجسام المضادة ترتبط بمنطقة "الرأس"، أم "الجذع" في بروتين الهيماجلوتينين . جـ. عدل الباحثون الأجسام المضادة المحتوية على هذه النطاقات التي تتعرف على بروتين الهيماجلوتينين، المأخوذة من الأجسام المضادة لحيوان اللاما، المتصلة من خلال روابط (باللون الأسود). اشتملت الأجسام المضادة أيضًا على منطقة Fc لدعم التفاعل مع الخلايا المناعية. وأتاحت هذه الأجسام المضادة حماية من سلالات مُحددة من الإنفلونزا "أ"، و"ب" عند اختبارها على الفئران.

هذا المعدل المرتفع من التحور في تنوع مستمر في اثنين من البروتينات الرئيسة للفيروس بمرور الوقت، أحدهما هو بروتين هيماجلوتينين (الراصة الدموية)، الموجود على سطح الفيروس (شكل 1)، ويتعرف على جزيء في خلايا المضيف، يقوم بدور مستقبِل لارتباط ودخول الفيروس.

يقترن بروتين الهيماجلوتينين أيضًا ببروتين فيروسي يسمَّى النيورامينيديز. ويوجد 18 نوعًا فرعيًّا مختلفًا من بروتين الهيماجلوتينين، و11 شكلًا من النُّيورامينيديز. ويشكل هذان البروتينان الأساس الذي تستند إليه تسمية سلالات الإنفلونزا. فعلى سبيل المثال، الاسم "H1N1" يشير إلى أن فيروس الإنفلونزا يتكون من بروتين الهيماجلوتينين من النوع الفرعي الأول، وبروتين نُويرامينيديز من النوع الفرعي الأول.

تزامن حدوث قفزة هائلة في محاولات تحقيق حماية ضد سلالات الإنفلونزا المتنوعة، مع اكتشاف الأجسام المضادة، المعروفة باسم الأجسام المضادة واسعة التحييد، التي من الممكن أن ترتبط ببِنْية ثابتة ومستقرة وراثيًّا في منطقة في بروتين الهيماجلوتينين، يُطلق عليها الجذع[5,6]. تحارب هذه الأجسام المضادة فيروس الإنفلونزا من خلال الارتباط ببروتين الهيماجلوتينين، وتثبيط قدرة الفيروس على دخول الخلايا. ويمكنهم أيضًا تعزيز الاستجابة المضادة للفيروس، على سبيل المثال، من خلال إقحام خلايا مناعية تعزز قتل الخلايا المصابة بالفيروس. إلا أن هذه الأجسام المضادة لا تتعرف عادة على جميع فيروسات الإنفلونزا، فمثلًا، الأجسام المضادة واسعة التحييد، التي تتعرف على هيماجلوتينين إحدى المجموعات الوراثية الفرعية الكبيرة للإنفلونزا "أ"، أي المجموعة 1، لا تبدي عادة استجابة اتجاه المجموعة الأخرى، أي المجموعة 2، ولا تتعرف كذلك على النوع "ب" من الإنفلونزا (المرجع رقم 7).

وفي محاولة لاستهداف فيروسي الإنفلونزا "أ"، و"ب"، توصّل لورسن وزملاؤه إلى فكرة، مضمونها تصميم جسم مضاد، عن طريق "ربط" نطاقات التعرف على الإنفلونزا المأخوذة من مختلف الأجسام المضادة معًا، وهذه الأجسام المضادة من شأنها أن ترتبط بمناطق في بروتين الهيماجلوتينين مستقرة وراثيًّا، وخاصة منطقة الجذع في هذا البروتين. وحقن الباحثون حيوانات اللاما (*Lama glama*) بلقاح الإنفلونزا، أو ببروتينات الهيماجلوتينين، واستخدموا الاختبارات المعملية؛ لتحديد الأجسام المضادة الناتجة ذات القدرة الأعلى، والتأثير الأوسع في تحييد فيروسات الإنفلونزا المتنوعة. ووجدوا أن بإمكان توليفات معينة من هذه الأجسام المضادة أن تستهدف جميع سلالات فيروس الإنفلونزا تقريبًا الخاضعة للاختبار. وتمتلك الأجسام المضادة لحيوان اللاما تركيبًا أبسط وحجمًا أصغر من الأجسام المضادة البشرية، وبالتالي تُيسِّر نهجًا هندسيًّا يهدف إلى دمج مناطق بروتينية من أكثر من نوع من الأجسام المضادة.

ومن خلال تصميم الأجسام المضادة، التي يرتبط فيها العديد من مناطق التعرف على بالإنفلونزا بروابط بروتينية، استطاع الباحثون تصنيع أجسام مضادة استهدفت فيروسات متعددة. ومكّن دمج هذه البنى في بِنْية جسم مضاد، يُطلق عليه منطقة Fc، البروتينات الهجينة من أن تتفاعل مع الخلايا المناعية، وتنشطها.

وعندما تلقّت الفئران أجسامًا مضادة معدَّلة وراثيًّا، أو الجين المرمَّز لمثل هذا الجسم المضاد - الذي وصل بمساعدة الفيروس المرتبط بالفيروس الغُدّي (AAV) إلى خلايا التجويف الأنفي - اكتسبت وقاية من فيروس إنفلونزا كان مميتًا في المعتاد. وضمن نهج التوصيل الجيني إنتاج الجسم المضاد لمدة تتراوح من أسابيع إلى شهور، مقدِّمًا بذلك حماية مستدامة، دون الحاجة إلى جرعات الحقن المتكررة على مدار الوقت.

وتظل إمكانية استخدام هذا النهج لحماية البشر من الإنفلونزا غير مؤكدة، حيث إن الفئران لا تمثل نماذج مثالية لتقصي الإنفلونزا البشرية، نظرًا إلى اختلاف نسخة المستقبِل الذي تستخدمه السلالات الفيروسية لإصابة خلايا الفئران، عن النسخة المطلوبة لدخول الفيروس إلى الخلايا البشرية. فضلًا عن اختلاف أنماط عدوى الأنسجة، والفيروس في مجرى الدم بين الفئران والبشر[8]. ومن الممكن أن تتضمن الحماية في الفئران مسارًا يتوسطه بروتين مُستقبِل يسمَّى FcγR-III، يوجد على الخلايا المناعية، ويتعرف على الأجسام المضادة المرتبطة بالأهداف[9]، ولكن ليس معروفًا ما إذا كانت لهذا النوع من الآليات المناعية أهمية لدى البشر، أم لا. وفشلت الأجسام المضادة التي تستهدف منطقة الجذع في بروتين الهيماجلوتينين - حتى الآن - في تخفيف الأعراض لدى البشر المصابين بالفعل، وتختبر قدرة هذه الأجسام المضادة على منع الإصابة من خلال التجارب الإكلينيكية[10].

أحد المخاوف الأخرى حول استخدام هذا النهج على البشر هو ما إذا كانت استجابة مناعية ستنطلق ضد الأجسام المضادة غير البشرية، أم لا. فبالرغم من اعتماد جسم مضاد معدَّل من حيوانات اللاما للاستخدام الإكلينيكي، لعلاج أمراض تجلط الدم[11]، فإن معرفة ما إذا كانت استجابة مناعية ستنطلق ضد الأجسام المضادة للإنفلونزا متعددة نطاقات التعرف، أم لا، لن تتضح إلا من خلال الاختبارات الإكلينيكية. ويمكن خَلْع صفة بشرية على أجسام حيوان اللاما المضادة (أي أنه يتم تعديلها بحيث تماثل نطاقات التعرف ذات الصلة في الأجسام المضادة البشرية)، إلا أنه من الضروري تقييم فعالية استخدام هذه التعديلات في البشر.

من الأمور المثيرة للمخاوف أيضًا استخدام الفيروس المرتبط بالفيروس الغدّي، بسبب القصور في تحقيق مستويات كافية ومستمرة من التعبير الجيني عند استخدام هذا الفيروس في العلاجات الجينية[12]. تتمثل مخاوف أمنية ورقابية أخرى بشأن ذلك الفيروس في حث استخدامه في التعبير الجيني المستمر، لأن ذلك من شأنه إثارة احتمال تكوُّن مركّبات من ارتباط الأجسام المضادة البشرية بالأجسام المضادة المعدّلة بمرور الوقت. ومع ذلك، قد تستفيد فئات معينة، مثل كبار السن، بدرجة خاصة من الأجسام المضادة المعدَّلة، نظرًا لارتفاع معدلات الوفيات بين هذه الفئة من الأفراد على إثر الإصابة بالإنفلونزا، ولكون استجاباتهم المناعية أضعف في المعتاد، مقارنة بالبالغين الأصغر سنًّا.

وقد يوفر التعبير الجيني عن الأجسام المضادة المُعدَّلة وراثيًّا من خلال نهج التوصيل الجيني طريقة للحماية من عدة أنواع من الأمراض المعدية، أو

علاجها. وإضافة إلى ذلك، فإن نتائج هذه العلاجات قد تساعد في تأكيد الأهداف المفيدة، الموضوعة لتطوير أدوية، أو لقاحات مضادة للفيروسات. فعلى سبيل المثال، إذا كان بإمكان الأجسام المضادة واسعة التحييد، التي تستهدف منطقة الجذع في بروتين الهيماجلوتينين، أن تقي من الإصابة بالإنفلونزا داخل خلايا جسم الإنسان، فذلك من شأنه تشجيع الجهود المبذولة لإنتاج هذه النوعية من الأجسام المضادة، من خلال أساليب التطعيم. وقد أُنتجت أجسام مضادة تستهدف منطقة الجذع في بروتين الهيماجلوتينين من قبل، من خلال أساليب تعتمد على البِنْية من أجل تصميم اللقاحات، وأظهرت نتائج واعدة في التجارب قبل الإكلينيكية باستخدام نماذج من الحيوانات[13–15].

ويذكرنا النهج الذي اتبعه لورسن وزملاؤه في إنتاج جسم مضاد يمكنه استهداف أكثر من موقع، بعمل سابق طُوِّر[16] فيه جسم مضاد بالاعتماد على الأجسام المضادة واسعة التحييد؛ من أجل استهداف ثلاثة مواقع منفصلة على فيروس نقص المناعة البشرية (HIV). فبإمكان هذه النوعية من الأجسام المضادة تحييد أكثر من 99% من سلالات فيروس HIV المنتشرة. وقد منع هذا النوع من الأجسام المضادة العدوى من الفيروسات التي لم تكن لتتأثر، إذا استُخدمت أجزاء مفردة من الجسم المضاد ثلاثي مناطق التعرف. لقد بدأت حقبة مهاجمة أهداف متعددة المواقع من خلال الأجسام المضادة المُعدَّلة، وقد يقدم ذلك تدابير وقائية جديدة لحماية صحة الإنسان. ■

جاري جيه. نابل يعمل بشركة «سانوفي» Sanofi في كامبريدج، ماساتشوستس 02139، الولايات المتحدة الأمريكية. وجون دبليو. شيفر يعمل بشركة «سانوفي باستير»، سويفت ووتر، بنسلفانيا 18370، الولايات المتحدة الأمريكية.
البريد الإلكتروني: gary.nabel@sanofi.com

1. Morens, D. M. & Fauci, A. S. *J. Infect. Dis.* **195**, 1018–1028 (2007).
2. Paules, C. & Subbarao, K. *Lancet* **390**, 697–708 (2017).
3. Laursen, N. S. *et al. Science* **362**, 598–602 (2018).
4. Taubenberger, J. K. & Kash, J. C. *Cell Host Microbe* **7**, 440–451 (2010).
5. Ekiert, D. C. *et al. Science* **324**, 246–251 (2009).
6. Sui, J. *et al. Nature Struct. Mol. Biol.* **16**, 265–273 (2009).
7. Corti, D. *et al. Science* **333**, 850–856 (2011).
8. Margine, I. & Krammer, F. *Pathogens* **3**, 845–874 (2014).
9. Jegaskanda, S., Reading, P. C. & Kent, S. J. *J. Immunol.* **193**, 469–475 (2014).
10. Nachbagauer, R. & Krammer, F. *Clin. Microbiol. Infect.* **23**, 222–228 (2017).
11. Peyvandi, F. *et al. N. Engl. J. Med.* **374**, 511–522 (2016).
12. Borsotti, C. & Follenzi, A. *Expert Rev. Clin. Immunol.* **14**, 1013–1019 (2018).
13. Hai, R. *et al. J. Virol.* **86**, 5774–5781 (2012).
14. Impagliazzo, A. *et al. Science* **349**, 1301–1306 (2015).
15. Yassine, H. M. *et al. Nature Med.* **21**, 1065–1070 (2015).
16. Xu, L. *et al. Science* **358**, 85–90 (2017).

الفيزياء الفلكية

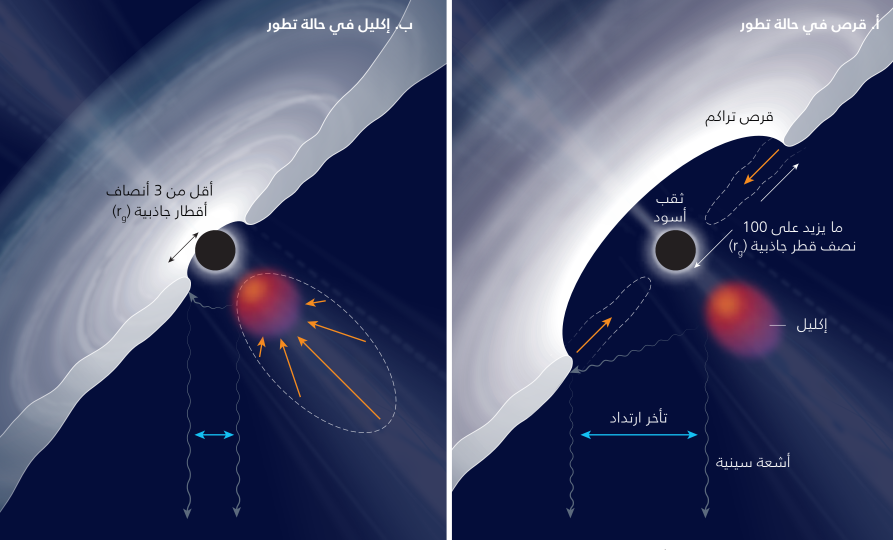
ثقب أسود يتحرك مع التيار

هناك تقنية يُطلق عليها «رسم خرائط الارتداد»، تم استخدامها في السابق؛ للتحقق من بِنْية المادة حول الثقوب السوداء فائقة الضخامة. وتشير الأرصاد إلى أن هذه التقنية يمكن تطبيقها أيضًا على ثقوب سوداء أصغر بكثير.

داريل هاجارد

يعد التنبؤ بوجود الثقوب السوداء، التي توجد بحجمين، واحدة من أغرب تنبوءات نظرية النسبية العامة لألبرت آينشتاين. وعادة ما تكون الثقوب السوداء ذات الكتلة النجمية بحجم مدينة، ولديها كتلة تصل إلى عشرة أضعاف كتلة الشمس، وتولَد من انفجارات النجوم الهائلة. أما الثقوب السوداء فائقة الضخامة، فتكون بحجم المجموعة الشمسية، وتزن ما بين ملايين ومليارات الكتل الشمسية، ويقع هذا النوع من الثقوب في مراكز أغلب المجرّات الضخمة. ومؤخرًا أفادت كارا وآخرون[1] في بحث نشر في دورية *Nature*، عن رصد جسم فلكي تم اكتشافه في مارس الماضي[2،3]، وهو جسم يُعرف باسم MAXI J1820 + 070 ويتألف من ثقب أسود ذي كتلة نجمية، يقوم بتجميع (مراكمة) الغازات من نجم مصاحب له، وذلك عبر بِنْية تُدعى قرص التراكم. توفر تلك الأرصاد رؤى متعمقة مهمة حول الخواص الفيزيائية المتعلقة بحركة التراكم في الثقوب السوداء.

قامت كارا وزملاؤها بوضع خرائط ارتداد، وهي تقنية تَستخدِم الضوء لاستكشاف التكوين الهندسي للمادة بالقرب من الثقب الأسود. و لتكوين تصور حول كيفية عمل هذه التقنية، تخيلْ أنك تستمع إلى صوت قطرات مياه متساقطة داخل أحد الكهوف. في البداية ستسمع صوت كل قطرة، وبعدها ستسمع صوت الصدى عندما يرتد كل صوت عن جدران الكهف. وكلما كان حجم الكهف أكبر، كان التأخُّر الزمني (تأخُّر الارتداد) بين سقوط القطرة وارتداد صوتها أطول. صوت القطرة



شكل 1| محيط ثقب أسود مستدَلّ عليه من رسم خرائط ارتداد. أ، تصاحب الثقوب السوداء ذات الكتل النجمية عادةً بِنْية محيطية، يُطلق عليها قُرْص التراكم، ومنطقة من الغازات الساخنة (إكليل). يمكن استخدام تقنية تُعرف باسم «رسم خرائط الارتداد»؛ لاستكشاف ما يحيط بالثقب الأسود، عن طريق قياس التأخير الزمني (تأخر الارتداد) بين الأشعة السينية المنبعثة من الإكليل، والأشعة السينية التي تتفاعل مع الحافة الداخلية لقرص التراكم، ويُعاد انبعاثها. سبق لأرصاد مبدئية[6،7] الإشارة إلى أن تأخر الارتداد يكون طويلًا، ما يعني أن الحافة الداخلية لقرص التراكم تكون بعيدة عن الثقب الأسود، ويشير إلى نماذج يتطور فيها القرص مع مرور الوقت (الأسهم البرتقالية). ب، إلا أن كارا وزملاءها[1] أعلنوا عن أرصاد عالية الوضوح، تشير إلى وجود تأخُّر ارتداد قصير. وتشير نتائجهم إلى أن القُرْص الداخلي يبقى على مقربة من الثقب الأسود، وأن الإكليل – وليس القرص – هو الذي يتطور بمرور الوقت. تُستخدَم أنصاف أقطار الجاذبية (rg) لتحديد حجم الثقب الأسود.

هنا يقابل الضوء المنبعث من إكليل الثقب الأسود - وهو منطقة من الغازات الساخنة تقع أعلى قرص التراكم، أو أسفله. أما الصدى، فيقابل الضوء المنبعث من الإكليل، والذي يتفاعل مع الحافة الداخلية لقرص

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

التراكم، ويُعاد انبعاثه.

تُستخدم تقنية رسم خرائط الارتداد في تحديد بِنْية المادة بالقرب من الثقوب السوداء فائقة الضخامة، وفي قياس كتل تلك الثقوب السوداء بشكل غير مباشر[3,4]. وقد ساعدت عمليات رصد الثقوب السوداء المتنامية فائقة الضخامة – التي تُعرف بالأنوية المجرِّية النشطة – الباحثين على الوصول إلى تقديرات لتأخر الارتداد، بلغ حوالي 50 ثانية[5]. ويشير ذلك التأخر الزمني إلى أن بعض الضوء المنبعث من الإكليل أُعِيد انبعاثه من منطقة تقع بشكل تقريبي في نطاق 10 أنصاف أقطار الجاذبية من الثقب الأسود (تُستخدَم أنصاف أقطار الجاذبية لتحديد حجم الثقب الأسود).

إذا صحت العلاقات الخاصة بمقاييس الثقب الأسود، فعندها – استنادًا إلى هذه الأرصاد – سيكون تأخر ارتداد الأشعة السينية، الخاصة بالثقوب السوداء ذات الكتل النجمية قدره ملِّي ثوانٍ تقريبًا، إلا أن بعض الأرصاد المبدئية لهذا التأخر في الارتداد كان قد أشار إلى نطاقات زمنية أطول بحوالي عشرة أضعاف[6,7]. وقادت هذه النتائج الباحثين إلى تطوير نماذج تُعزِي طول فترات تأخر الارتداد إلى وجود قرص تراكم مقتطَع (truncated accretion desk)، والذي تكون حافته الداخلية واقعة على بعد مئات أنصاف أقطار الجاذبية من الثقب الأسود (شكل 1أ). في تلك النماذج، يتطور قرص التراكم مع مرور الوقت، حيث يصير نصف قطر الاقتطاع أصغر تدريجيًّا عندما يتعرض الثقب الأسود إلى حالة فوران نتيجة إلى تزايد معدل التراكم. إلا أن الأرصاد المبدئية[6,7] كانت محددة بدرجة الوضوح الطيفية والزمنية للأجهزة المتاحة المستخدمة في رصد الأشعة السينية.

قامت كارا وزملاؤها بتجميع أطياف رائعة وذات درجة وضوح زمنية عالية للأشعة السينية من مستكشف التركيب الداخلي للنجوم النيوترونية (NICER)[8]، المُثبَّت على متن المحطة الفضائية الدولية. واستخدم الباحثون تلك الأطياف لمراقبة التغيرات في إشارة الارتداد من MAXI J1820 + 070، وفي تتبع الاختلافات في تركيب التدفق التراكمي بينما يشهد معدل التراكم تغيرات كبيرة وسريعة. اكتشف المؤلفون وجود تأخر في الارتداد بنطاق زمني مُقاس بالملِّي ثانية أثناء إحدى حالات فوران الأشعة السينية من MAXI J1820 + 070. حدد هذا التأخر في الارتداد المسافة بين الإكليل والحافة الداخلية لقرص التراكم أثناء تحول الثقب الأسود من حالة الفوران إلى حالته الطبيعية (حالة السكون).

وجد المؤلفون أن خطوطًا طيفية محددة تُميِّز الانبعاث من القرص الداخلي، كانت مستقرة بشكل ملحوظ أثناء مرحلة التحوّل تلك. وإضافة إلى ذلك.. أشارت تلك الخطوط الطيفية إلى أن القرص الداخلي يقع على مسافة من الثقب الأسود أقل عن ثلاثة أنصاف أقطار الجاذبية (شكل 1ب). تتحدى هاتان النتيجتان التصوُّر الذي تطرحه نماذج القرص المُقتطَع، وترسم صورة عن وجود تحولات موحّدة في حالات التراكم في كل من الثقوب السوداء ذات الكتل النجمية والثقوب السوداء فائقة الضخامة. ويشير تحوُّل تأخر الارتداد إلى طاقات زمنية أقصر إلى أن الإكليل يتحول من بِنْية ممتدة رأسيًّا في مراحل مبكرة من التحوُّل إلى بنية أكثر انضغاطًا في مراحل لاحقة. وهذه التغيرات تحدث في نطاقات زمنية تتفق، مجددًا، بشكل ممتاز مع التنبؤات المبنية على علاقات مقاييس الثقوب السوداء.

لقد استكشفت دراسات عديدة ما إذا كان هناك تشابه بين تحولات حالة التراكم في الثقوب السوداء ذات الكتل النجمية والثقوب السوداء فائقة الضخامة[9–12]، أم لا، إلا أن هذه الدراسات كانت تعاني من درجات من عدم التيقن، ترجع إلى النطاقات الزمنية شديدة الاختلاف، التي ينطوي عليها الأمر، والتي تتراوح من أيام إلى شهور بالنسبة إلى التحولات في الثقوب السوداء ذات الكتل النجمية، مقارنةً بعشرات الآلاف من السنوات لتلك التحولات التي يُتوقَّع وجودها في الأنوية المجرِّية النشطة. إن اكتشاف كارا وزملائها وجود تأخر في الارتداد بنطاقات زمنية تُقاس بالملِّي ثانية أثناء إحدى حالات فوران MAXI J1820 + 070 هو بمثابة إضافة قطعة مهمة في الطريق لحل الأحجية؛ إلا أن هذا الحدث لا يمثل إلا نقطة بيانية واحدة، ويمكن تعزيز النتائج التي توصل إليها المؤلفون بطريقتين.

أولًا: لا بد من دراسة عدد آخر من الثقوب السوداء ذات الكتل النجمية في أثناء تحولها من حالة الفوران إلى حالة السكون، باستخدام مستكشف التركيب الداخلي للنجوم النيوترونية، والأجهزة التي سيتم استخدامها مستقبلًا لرصد الأشعة السينية بدرجة وضوح زمنية عالية، وبحساسية أفضل. إن الحصول على عينة مُجمَّعة من بيانات مستقاة من حالات الفوران تلك، بحيث يكون ما يزيد على حالة فوران واحدة منها مرتبطًا بتأخر ارتداد ذي نطاقات زمنية مُقاسة بالملِّي ثانية، من شأنه أن يعزز النتائج الحالية. وثانيًا: قد توفِّر الدراسات التي تتناول الأنوية المجرِّية النشطة ذات التغيرات الكبيرة – بالأخص تلك الأنوية التي تتحول ثقوبها السوداء فائقة الضخامة، بشكل سريع، من حالات السطوع إلى حالات الخفوت، أو العكس[13–16] – اختبارات قيِّمة توضح ما إذا كانت بِنَى أقراص التراكم متشابهة في الثقوب السوداء ذات الكتل النجمية والثقوب السوداء فائقة الضخامة، أم لا. وقد توفِّر هذه الدراسات المُكمِّلة معًا نظرة غير مسبوقة على التغيرات التي تحدث في المنطقة المحيطة مباشرةً بجميع الثقوب السوداء المتنامية بالتراكم.■

تعمل **داريل هاجارد** في قسم الفيزياء ومعهد ماكجيل للفضاء بجامعة ماكجيل، مونتريال، كيبيك H3A 2A7، كندا.
البريد الإلكتروني: daryl.haggard@mcgill.ca

1. Kara, E. *et al. Nature* **565**, 198–201 (2019).
2. Shidatsu, M. *et al. Astrophys. J.* **868**, 54 (2018).
3. Tucker, M. A. *et al. Astrophys. J. Lett.* **867**, L9 (2018).
4. Uttley, P., Cackett, E. M., Fabian, A. C., Kara, E. & Wilkins, D. R. *Astron. Astrophys. Rev.* **22**, 72 (2014).
5. Kara, E. *et al. Mon. Not. R. Astron. Soc.* **462**, 511–531 (2016).
6. Uttley, P. *et al. Mon. Not. R. Astron. Soc. Lett.* **414**, L60–L64 (2011).
7. De Marco, B., Ponti, G., Muñoz-Darias, T. & Nandra, K. *Astrophys. J.* **814**, 50 (2015).
8. Gendreau, K. C. *et al. Proc. SPIE* **9905**, 99051H (2016).
9. Merloni, A., Heinz, S. & Di Matteo, T. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **345**, 1057–1076 (2003).
10. Falcke, H., Körding, E. & Markoff, S. *Astron. Astrophys.* **414**, 895–903 (2004).
11. McHardy, I. M., Koerding, E., Knigge, C., Uttley, P. & Fender, R. P. *Nature* **444**, 730–732 (2006).
12. Körding, E. G. *et al. Mon. Not. R. Astron. Soc.* **380**, 301–310 (2007).
13. Lamassa, S. M. *et al. Astrophys. J.* **800**, 144 (2015).
14. Ruan, J. J. *et al. Astrophys. J.* **826**, 188 (2016).
15. Gezari, S. *et al. Astrophys. J.* **835**, 144 (2017).
16. Noda, H. & Done, C. *Mon. Not. R. Astron. Soc.* **480**, 3898–3906 (2018).

ملخصات الأبحاث

عدوى

بِنْية مُعَقَّد غزو طفيل الملاريا

يتسبب طفيل *Plasmodium falciparum* في الحالة الوخيمة من مرض الملاريا، التي تنجم عنها معدلات وفيّات مرتفعة لدى البشر. تغزو أقاسيم الطور الدموي من *P. falciparum* الكريات الحُمْر، ويتطلب هذا تفاعلات بين عدة ربيطات من الطفيل ومستقبلات لدى العوائل. تشمل هذه التفاعلات ربط المُعقَّد Rh5–CyRPA–Ripr مع مستقبِل «باسيجين» basigin الخاص بالكريات الحُمْر، وهي خطوة أساسية للدخول إلى الكريات الحُمْر في البشر.

في البحث المنشور، يوضح الباحثون أن المعقَّد Rh5–CyRPA–Ripr يربط الخط الخلوي JK-1 الخاص بالكريات الحُمْر بشكل أفضل من الربط الذي يقوم به Rh5 بمفرده، وأن هذا الربط يحدث عن طريق إدخال Rh5 و Ripr إلى أغشية العائل كمعقّد ذي وزن جزيئي كبير. ويوضح الباحثون - باستخدام الفحص المجهري الإلكتروني فائق البرودة - بِنْية المعقّد Rh5–CyRPA–Ripr بدرجة وضوح دون النانومتر، ما يكشف عن طريقة تنظيم هذا المعقَّد الأساسي الخاص بعملية الغزو، وعن نمط التفاعلات بين أجزاء المعقّد، ويُظهِر أن CyRPA هو وسيط على درجة كبيرة من الأهمية في عملية تجميع أجزاء المعقّد.

تحدِّد البِنْية التي توصل إليها الباحثون أن الشفرات 4–6 من المروحة الدافعة بيتا الخاصة بـCyRPA هي مواقع اتصال لـRh5، وRipr. وتتسق الاتصالات المحدودة بين Rh5–CyRPA، وCyRPA–Ripr مع انفصال Rh5، و Ripr عن CyRPA، لإحداث الإدخال إلى الغشاء. والمقارنة بين البِنْية البلورية لـRh5–basigin، وبِنْية Rh5–CyRPA– Ripr التي يظهرها الفحص المجهري الإلكتروني فائق البرودة تشير إلى تموضع Rh5، وRipr بشكل موازٍ لغشاء الكريَّة الحمراء قبل حدوث الإدخال إلى الغشاء. ويقدم هذا معلومات عن وظيفة هذا المعقّد، وبالتالي يعمق فهمنا لآلية الغزو الخاصة بـ*P. falciparum*.

W. Wong *et al.*

doi: 10.1038/s41586-018-0779-6

تحفيز حيوي

تفعيل روابط sp^3C–H المحفز بالحديد

على الرغم من وفرة روابط الكربون والهيدروجين (C–H) في الجزيئات العضوية، فإنها عادةً ما تُعتبر غير متفاعلة، وغير متاحة للتعديل الكيميائي. بـدأت التطورات الحديثة في تقنية تفعيل روابط الكربون والهيدروجين في تغيير هذا الفكر السائد، مع التأكيـد على صعوبة وأهمية الإدراج الانتقائي لمجموعات الألكيل المرتبطة بـذرات الكربون sp^3 (sp^3C-alkyl) في هيكل هيدروكربوني.

في البحث المنشور، يصف الباحثون محفزات قائمة على الحديد للألكلة بين الجزيئية بالانتقاء المضاد، والموضعي، والكيميائي لروابط sp^3 C–H، من خلال إدخال الكربين على روابط C–H. كما أن المحفزات، المشتقة من إنزيم «سيتوكروم بي450» الذي قد استعيض فيه عن ربيطة السيستين المحورية الأصلية بالسيرين «سيتوكروم بي411»، مشفرة جينيًّا بالكامل، وتُنتج في البكتيريا، حيث يمكن تعديلها بالتطور الموجه لتلائم النشاط والانتقاء.

وكون تلك البروتينات تنشـط الحديـد، الفلز الانتقالي الأكثر وفرة، لأداء هـذا التفاعل الكيميائي، يوفر بديلًا نافعًا للمحفزات الفلزية النبيلة، التي هيمنت على مجال تفعيل روابـط الكربون والهيدروجين. وتفعل الإنزيمـات المطورة في المختبر ركائز متنوعـة تحتوي على روابط كربون وهيدروجيـن بنزيلية، أو أليلية، أو ألفا-أمينيـة ذات إنتاجية عالية، وانتقـاء ممتاز. وإضافة إلى ذلك، فقد أتاحت تطوير مسـارات مختصرة لعدة منتجات طبيعية.

إن استخدام عامل أصلي من هيم الحديد مساعد لهذه الإنزيمات لتمكين ألكلة روابط sp^3C–H، من المحتمل أن يتيح تحفيز هذا التحول غير البيولوجي من خلال مجموعة متنوعة من بروتينات الهيم الطبيعية، وبالتالي تيسير تطوير تفاعلات إنزيمية جديدة لتفعيل روابط الكربون والهيدروجين، حتى تكون قابلة للاستخدام في تطبيقات الكيمياء، وعلم الأحياء التخليقي.

R. Zhang *et al.*

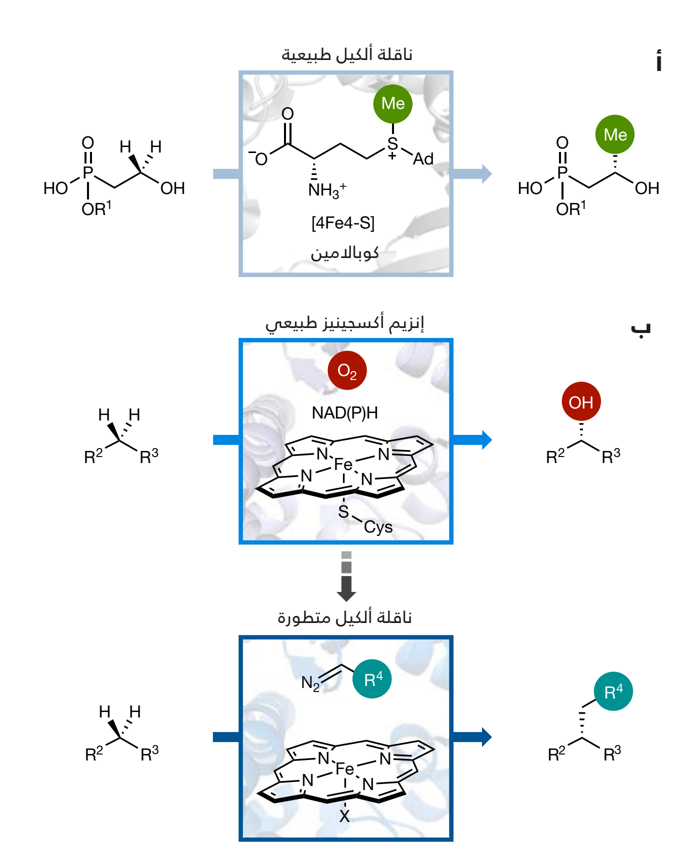
doi: 10.1038/s41586-018-0808-5

الشكل أسفله | نظم تفعيل إنزيمية لروابط C–H أ، مثيلة مُحفَّزَة بإنزيمات SAM جذرية معتمدة على الكوبالامين، كما هو موضح من خلال Fom3 في التخليق الحيوي للفوسفوميسين. ب، أكسجة مُحفَّزَة عن طريق سيتوكروم بي450 مونو أحادي الأكسجينيز (أعلى الشكل) وتفاعل الألكلة المقترَح الذي يتحقق من خلال تحفيز بروتين الهيم (أسفل الشكل). الرسوم التوضيحية البنيوية مأخوذة من بنك بيانات البروتين (PDB)، وIDs 5UL4 (إنزيم SAM جذري)، و2IJ2 PDB (سيتوكروم بي$_{BM3}$P450). وAd ترمز إلى أدينوسيل، وCys ترمز إلى سيستين، بينما R هي مجموعة عضوية، وX حمض أميني.

الفيزياء الفلكية عالية الطاقة

انكماش إكليل خارج ثقب أسود

إنّ الحسابات الهندسية الخاصة بالتدفق التراكمي حول الثقوب السوداء ذات الكتلة النجمية قد تتغير في نطاقات زمنية تتراوح بين أيام وشهور. وعندما يبرز الثقب الأسود من حالة الخمود (بمعنى آخر.. عندما 'ينشط' بعد مراكمته للمادة من مُرافقه)، يكون له طيف أشعة سينية حاد جدًّا (عالي الطاقة)، ناتج عن إكليل ساخن مستقر فوق القرص التراكمي الخاص به، ومن ثم يتحول الطيف إلى طيف خافت (منخفض الطاقة)، تسوده انبعاثات من القرص التراكمي الرقيق من الناحية الهندسية، الذي يمتد إلى أعمق مدار دائري مستقر. يتواصل الكثير من الجدل حول الكيفية التي يحدث بها هذا التحوُّل، وما إذا كان ناجمًا - إلى حد كبير - عن انحسار نصف قطر الاقتطاع الخاص بالقرص، أو عن انحسار المدى المكاني الخاص بالإكليل. تشير عمليات رصد تباطؤ ارتداد الأشعة السينية في نظم الثقوب السوداء الفائقة إلى أن الإكليل يكون منضغطًا، وأن القرص يمتد تقريبًا إلى الثقب الأسود المركزي، إلا أن رصد الثقوب السوداء ذات الكتلة النجمية يكشف عن تباطؤ ارتداد مقابِل (بالمعايرة بالنسبة إلى الكتلة) أكبر بكثير، وهو ما يشير إلى أن القرص التراكمي في حالة الأشعة السينية الحادة في الثقوب السوداء ذات الكتلة النجمية مُقتطَع، عند مسافة تقدَّر ببضعة مئات أنصاف أقطار الجاذبية، من الثقب الأسود.



في البحث المنشور، يقدم الباحثون رصدًا للأشعة السينية الخاصة بالنفث المؤقت MAXI J1820 + 070 الخارج من ثقب أسود. وتوصَّل الباحثون إلى أن تباطؤ الارتداد الزمني بين الإكليل الباعث للمدى المتصل والقرص التراكمي المُشَعَّع أقصر بما يتراوح بين 6 مرات، و20 مرة، مقارنةً بما تمت مشاهدته سابقًا. يَقصُر النطاق الزمني لتباطؤ الارتداد بقيمة أُسِّية على مدار فترة تمتد إلى أسابيع، بينما يظل شكل خط انبعاث K المتسع الخاص بالحديد ثابتًا بشكل ملحوظ. يشير هذا إلى انحسار المدى المكاني للإكليل، وليس إلى تغيُّر في الحافة الداخلية للقرص التراكمي.

E. Kara *et al.*

doi: 10.1038/s41586-018-0803-x

ميكانيكا حيوية

محاكاة طرق حركة أحد السلويات المنقرضة

تقدِّم إعادة هيكلة طرق الحركة في الفقاريات المنقرضة فَهْمًا أفضل لبيولوجيا الحفريات، كما تساعد في وضع تصوُّر عن النقلات الرئيسة في رحلة تطور الفقاريات. غير أن تقدير السلوك الحركي لأحد الأنواع الأحفورية لا يزال يشكل تحديًا، نظرًا إلى محدودية المعلومات المحفوظة، وغياب الصلة المباشرة بين الهيئة والوظيفة.

كان تطور طرق الحركة المتقدمة على الأرض – أي طرق الحركة الأكثر انتصابًا، وتوازنًا، وتوفيرًا للطاقة من الناحية الميكانيكية، مما كان يُفْتَرَض وجوده عند أوائل رباعيات الأرجل اللاسلوية - قد رُبِط فيما سبق بانتقال اللاسلويات إلى اليابسة، وتنوّع أنسابها. وعلى حدّ علمنا، لم يسبق من قبل محاولة إعادة هيكلة سمات طرق حركة السلويات الشاملة، استنادًا إلى طرق كَمِّيّة متعددة، إذ اعتمدت الطرق السابقة على السمات التشريحية وحدها، أو على المعلومات المبهمة عن طرق الحركة المحفوظة في الآثار الأحفورية، أو حتى على نمذجة غير محددة لديناميكيات الحركة.

في البحث المنشور، يُجْري الباحثون اختبارًا كميًّا لطرق مشي أحد سلالات السلويات الشاملة التي يُطلق عليها *Orobates pabsti* ، وهي أحد الأنواع التي أمكن التعرف عليها من خلال حفرية محفوظة لجسم كامل، كانت مصحوبة بمسارات حركة هذه الحفرية. أعاد الباحثون هيكلة طرق مشي محتملة للحفرية، تتطابق مع آثار الأقدام، ثم حاولوا استقصاء ما إذا كان هذا النوع قد امتلك سمات حركة كان تم ربطها من قبل بتنوّع السلويات الأساسية، أم لا.

استخدم الباحثون منهجًا تكميليًّا، له قواعد مستمدة من مقاييس مهمة من الناحية الميكانيكية الحيوية، تنطبق أيضًا على رباعيات الأرجل التي تعيش على الأرض حاليًّا. يعتمد إطار عمل الباحثين على تقدير لميكانيكا الحركة في الجسم الحي، وذلك في أربعة أنواع موجودة حاليًّا، بغرض توجيه محاكاة حركية تَعتمِد على تشريح أجسام الـ *Orobates*، كذلك يعتمد إطار العمل على المحاكاة الحركية وعلوم الروبوتات، لتنقيح الحيز المعياري من أجل الوصول إلى طرق المشي الأقرب إلى الدقة.

أمكن التحقق من صحة هذا النهج بالاستعانة بنوعين من الكائنات التي تعيش حاليًّا، يختلفان في المظاهر الشكلية، وطرق المشي، وآثار الأقدام. وأظهرت القياسات التي حصل عليها الباحثون أن الـ *Orobates* قد امتلكت بالفعل طرق حركة أكثر تطورًا مما كان يُفترَض سابقًا عن رباعيات الأرجل المبكرة، وهو ما يشير إلى احتمال أن تكون طرق الحركة المتقدمة للحيوانات الأرضية المبكرة قد سبقت تنوّع السلويّات الأساسية. وبالإضافة إلى ذلك، نشر الباحثون عنوان موقع إلكتروني لاستكشاف المنقّحات التي تَحْكُم عملية المحاكاة التي أجروها، وهو ما سيتيح مراجعة منهجهم باستخدام بيانات، أو افتراضات، أو طرق جديدة.

J. Nyakatura *et al.*

doi: 10.1038/s41586-018-0851-2

علم الوراثة الجينية

دراسة جينومية لوباء الكوليرا في اليمن

يشهد اليمن حاليًّا - على حد علمنا - أكبر وباء للكوليرا في التاريخ الحديث. أُعلن عن الحالات الأولى في سبتمبر 2016، ومنذ ذلك الحين تم الإبلاغ عن أكثر من 1.1 مليون إصابة، و2300 حالة وفاة.

في البحث المنشور، يدرس الباحثون ارتباطات التطور السلالي، ونشوء المرض، ومحددات مقاومة الميكروبات للأدوية، عن طريق وضع التسلسل الجينومي لعينات معزولة من بكتيريا *Vibrio cholerae* المأخوذة من الوباء المنتشر في اليمن، وعينات معزولة حديثة مأخوذة من مناطق مجاورة. وُضعت هذه التسلسلات الجينومية، وعددها 116، ضمن السياق التطوري السلالي لمجموعة عالمية تضم 1087 عينة معزولة من وباء *V. cholerae* السابع من المجموعتين المَصْلِيّتين (01، و0139)، المنتميتين إلى النمط الحيوي (El Tor).

يُظهِر الباحثون أن العينات المعزولة المأخوذة من اليمن، التي جُمعت خلال موجتي الوباء (امتدت الأولى من 28 سبتمبر 2016 إلى 23 إبريل 2017 بعدد 25,839 حالة مشتبه فيها، وبدأت الثانية في 24 إبريل 2017 بأكثر من مليون حالة مشتبه فيها)، هي عينات معزولة من النوع المَصْلي أوجاوا (Ogawa)، من سلالة فرعية واحدة من وباء *V. cholerae* السابع، من سلالة O1 El Tor (7PET). وباستخدام أساليب جينومية، يربط الباحثون انتشار الوباء في اليمن بانتشاره العالمي، كما يُظْهِرون أن هذه السلالة الفرعية كانت قد نشأت في جنوب آسيا، وأنها سببت انتشارًا للوباء في شرق أفريقيا، قبل ظهورها في اليمن. ويُظهِرون أيضًا أن العيِّنات المعزولة المجمّعة من اليمن تبدي حساسية للعديد من المضادات الحيوية شائعة الاستخدام في علاج الكوليرا، ولعائلة المضادات الحيوية من البوليميكسينات، التي تُعتبر مقاوَمتها إشارة إلى وجود النمط الحيوي El Tor.

F. Weill *et al.*

doi: 10.1038/s41586-018-0818-3

الشكل أعلاه | الموقع الجغرافي لعينات معزولة لبكتيريا *V. cholerae* من سلالة (El Tor 01)، التي وُضع تسلسلها، وعدد حالات الإصابة بالكوليرا المبلَّغ عنها. أ، يُظهِر الرسم العدد الإجمالي الأسبوعي للحالات المشتبه في إصابتها بالكوليرا في اليمن حتى 31 ديسمبر 2017 (http://yemeneoc.org/bi)، ويُظهِر الموجتين الوبائيتين. تواريخ العينات المعزولة التي وضع تسلسلها في هذه الدراسة موضحة تحت الخط البياني للوباء. ب، الموقع الجغرافي للعينات المعزولة الـ42 من سلالة (El Tor 01) من بكتيريا *V. cholerae*، التي تم جمعها من اليمن. أما الثلاث عينات المعزولة، التي جُمعت من المملكة العربية السعودية (المشار إليها بعلامة النجمة)، فقد تم الحصول عليها من لاجئين يمنيين من منطقة حجّة، ويُشار إليها في البحث المنشور باعتبارها "عينات يمنية معزولة". عدد الحالات في كل محافظة مشار إليه وفقًا لدراسة سابقة. وُضعت خريطة محافظات اليمن باستخدام الإصدار 2.16 من تطبيق QGIS (http://qgis.org)، وتمت الموافقة على استخدام ملف الشكل من قِبَل مكتب الأمم المتحدة لتنسيق الشؤون الإنسانية (OCHA)، في مكتب OCHA في اليمن (https://data.humdata.org/dataset/yemen-admin-boundaries). ووُضعت الخريطة الصغيرة المؤطرة باستخدام الإصدار 2.16 من تطبيق QGIS، عن طريق الإصدار 4.0.0 من خريطة الأرض الطبيعية الأساسية (https://www.naturalearthdata.com).

علم أدوية المستقبلات

سبر أغوار آليات تأشير مستقبلات $GABA_A$

يُعَد النوع A من مستقبلات حمض جاما أمينوبوتيريك ($GABA_A$) بمثابة قنوات كلوريد مبوبة بربيطات، وله استخدامات عديدة في علم خواص الأدوية، حيث يُعَدّ بعض مُعدِّلاتها التي تتضمن عقاقير البنزوديازيبين، وأدوية

التخدير العامة من بين أكثر العقاقير المستخدَمة طبيًّا بنجاح، ومن المواد الشائعة التي يتم إدمانها. وفي غياب بيانات بِنيوية موثوقة، يظل الأساس الميكانيكي للتعديل الدوائي لمستقبلات $GABA_A$ مجهولًا إلى حدّ كبير.

يقدّم الباحثون في البحث المنشور عدة بِنى شديدة الاستبانة، كُشف عنها بالفحص المجهري الإلكتروني لعينة مُبرَّدة، يرتبط فيها المُستقبِل البشري $α1β3γ2L\ GABA_A$ كامل الطول داخل أقراص دهنية نانوية القياس بالبيكروتوكسين الحاصر للقناة، والمضاد المنافس بايكوكولين، وناهض مستقبِل GABA (حمض جاما أمينوبوتيريك)، وعقاقير البنزوديازيبين الكلاسيكية؛ ألبرازولام وديازيبام.

ويصف الباحثون أساليب الارتباط، والتأثيرات الميكانيكيّة لهذه الربيطات، والحالات المغلقة وغير المستثارة لدورة تبوّب مستقبلات $GABA_A$، وأساسيات الاقتران التفارغي بين منطقة ارتباط الناهض خارج الخلية، والمنطقة المكونة للمسام عبر الغشاء. يوفر هذا العمل إطارًا بنيويًّا يجمع بين الأبحاث السابقة في الفسيولوجيا، وعلم خواص الأدوية، ويمثل الأساس المنطقي لتطوير مُعدِّلات مستقبلات $GABA_A$.

S. Masiulis *et al.*

doi: 10.1038/s41586-018-0832-5

تصوير واستشعار

تقنية تسمح برؤية الأهداف المستترة

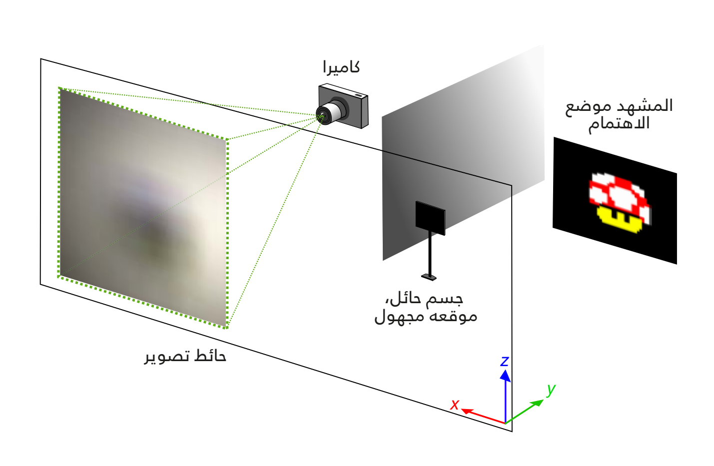
إنّ حساب كميات الضوء القادمة من اتجاهات مختلفة يتيح للسطح المسبب للانعكاس الانتشاري لعب دور المرآة المستخدَمة في البيريسكوب؛ أي أنه يسمح له بالتصوير خارج خط الرؤية فيما وراء العائق. ونظرًا إلى أن تقنية البيريسكوب الحوسبية تعتمد حتى الآن على تناسُب المسافات التي يقطعها الضوء مع أزمنة الانتقال، فإن هذه التقنية يتم إجراؤها - في الغالب - باستخدام أنظمة بصرية متخصصة فائقة السرعة، وباهظة الكُلفة.

في البحث المنشور، يقدم الباحثون تقنية بيريسكوب حوسبية ثنائية الأبعاد، تتطلب صورة فوتوغرافية واحدة فحسب، يتم التقاطها بكاميرا رقمية عادية. تسترجع التقنية التي يقدمها الباحثون موقع الجسم المعتم، والمشهد الموجود خلف هذا الجسم (على ألا يكون المشهد محجوبًا بشكل كامل بواسطة الجسم)، عندما يكون كلٌّ من الجسم والمشهد خارج خط رؤية الكاميرا، وذلك دون الحاجة إلى إضاءة مُتحكَّم فيها، أو إضاءة متباينة زمنيًّا. يقوم هذا الاسترجاع على أن شبه الظل المرئي للجسم المعتم له اعتمادية خطية على المشهد المستتر، يمكن نمذجتها من خلال علم بصريات الأشعة. إن التصوير الخارج عن خط الرؤية باستخدام معدات شائعة وغير باهظة الثمن قد يكون ذا قيمة كبيرة في أعمال مراقبة البيئات الخطرة، والملاحة، والكشف عن الأعداء المختبئين.

C. Saunders *et al.*

doi: 10.1038/s41586-018-0868-6

الشكل أسفله | تصميم تجربة تقنية البيروسكوب الحوسبية. عن طريق تحكُّم حاسوب شخصي محمول، تحصل الكاميرا الرقمية القياسية على لقطة لتوزيع الدفق الإشعاعي الساقط على حائط تصوير مرئي، الذي ينشأ عن شبه الظل الخاص بجسم حائل، نتيجة للضوء المنبعث من المشهد موضع الاهتمام. يُعرَض المشهد موضع الاهتمام على شاشة عرض ذات بلورات سائلة (LCD)؛ لتيسير إجراء التجارب مع العديد من المشاهد. يتم تمرير اللقطة خلال خوارزمية حاسوبية؛ لاسترجاع صورة للمشهد موضع الاهتمام، والتوصُّل إلى تقدير بشأن موقع الحائل المستتر.



عوازل طوبولوجية

عازل فوتوني ثلاثي الأبعاد

يُعد حبس الفوتونات في حيز محدود، أمرًا مرغوبًا للغاية في الأجهزة الضوئية الحديثة؛ مثل أدوات توجيه الموجات، والليزر، والتجاويف الرنانة. وقبل عقود مضت، حفزت هذه الفكرة دراسة واستخدام البلورات الضوئية، التي تمتلك فجوة نطاقية ضوئية، من شأنها كبح انتشار موجات الضوء في جميع الاتجاهات. ومؤخرًا - وانطلاقًا من اكتشافات العوازل الطوبولوجية - برهن العلماء إمكانية حبس الفوتونات باستخدام حماية طوبولوجية في بِنى ضوئية ثنائية الأبعاد (2D)، تُعرف باسم العوازل الطوبولوجية الضوئية، وهو اكتشاف له استخدامات واعدة في أجهزة الليزر الطوبولوجية، وخطوط التأخير البصرية القوية. بيد أن العلماء لم يتمكنوا من التوصًّل إلى فجوة نطاقية ضوئية طوبولوجية ثلاثية الأبعاد (3D) بالكامل حتى الآن.

يعرض الباحثون في البحث المنشور - بالتجربة - عازل طوبولوجي ضوئي ثلاثي الأبعاد، ذي فجوة نطاقية طوبولوجية ثلاثية الأبعاد، بالغة الاتساع (أكثر من 25 في المئة عرض نطاق ترددي). وتتكون المادة المركّبة (وهي عبارة عن أنماط فلزية مطبوعة على لوحات دوائر كهربائية مطبوعة) من رنانات مشقوقة الحلقة (ذرات اصطناعية كهرومغناطيسية كلاسيكية)، ذات ازدواج مغناطيسي كهربائي قوي، وتسلك سلوك عازل طوبولوجي "ضعيف" (أي عازل طوبولوجي ذات عددًا زوجيًّا من مخاريط «ديراك» Dirac السطحية)، أو سلوك رصّة من عوازل «هول» Hall المغزلية الكمية ثنائية الأبعاد.

ويصمم الباحثون - باستخدام قياسات المجال المباشرة - كل من بِنْية نطاق الحيز الفجوي، والتشتت الشبه بمخاريط «ديراك» لمستويات السطح الضوئية، كما يبرهنون على انتشار ضوئي قوي بمحاذاة سطح غير مستوٍ.

توسع تجربة الباحثين عائلة العوازل الطوبولوجية ثلاثية الأبعاد، لتمتد من الفرميونات إلى البوزونات، وتمهد الطريق لاستخدامها في التجاويف، والدوائر، وأجهزة الليزر الضوئية الطوبولوجية على هيئة بِنى هندسية ثلاثية الأبعاد.

Y. Yang *et al.*

doi:10.1038/s41586-018-0829-0

التنظيم الجيني

تحفيز استجابة الخلايا للجوع الشديد

الإنترونات هي سمات واسعة الانتشار في جميع الخلايا حقيقية النواة. ولإنتاج بروتينات وظيفية، تجب إزالة الإنترونات من الحمض النووي الريبي المرسال، حديث التكوُّن من خلال عملية التضفير.

وفي البحث المنشور، يوضح الباحثون أن الوجود المادي للإنترونات في الجينوم يعزِّز بقاء الخلايا في ظل الجوع الشديد. ويشير الحذف المنهجي لكافة الإنترونات المعروفة في جينات الخميرة المتبرعمة إلى أنه في معظم الحالات تصاب الخلايا محذوفة الإنترونات بخلل عندما تستنفد العناصر الغذائية. هذا التأثير للإنترونات على النمو لا يرتبط بالتعبير عن الجين المضيف، وقد تَكَرَّر حتى عند تعطيل ترجمة الحمض النووي الريبي المرسال المضيف. ووفقًا للتحليلات الترانسكربتومية والوراثية، تعزِّز الإنترونات مقاوَمة الجوع الشديد، عن طريق التمادي في كبح جينات البروتين الريبوسومي الموجودة في اتجاه مسارَي TORC1 وPKA المستشعرَين للمغذيات.

وتكشف النتائج التي توصل إليها الباحثون عن وظائف للإنترونات، قد تساعد في تفسير حفظها التطوري في الجينات، وتميط اللثام عن آليات تنظيمية لعمليات التكيف الخلوي مع الجوع.

J. Parenteau *et al.*

doi:10.1038/s41586-018-0859-7

نمذجة نظام المناخ والأرض

إعادة النظر في فقدان جليد أنتاركتيكا

تتراوح التنبؤات المتعلقة بارتفاع مستوى سطح البحر خلال هذا القرن – نتيجة لذوبان الجليد في منطقة القطب الجنوبي – من الصفر إلى أكثر من متر. وتأتي أعلى التنبؤات مدفوعة بفرضية عدم استقرار الجروف الجليدية البحرية (MICI) المثيرة للجدل، التي تفترض أن الجروف الجليدية الساحلية قد تنهار سريعًا عقب تفكك الرفوف الجليدية، كنتيجة للذوبان السطحي، وذوبان ما تحت الرفوف، الناجمَين عن الاحترار العالمي، إلا أن عدم استقرار الجروف الجليدية البحرية لم يتم

رصده في العصر الحديث، ولا يزال غير واضح ما إذا كانت هذه الفرضية ضرورية لتكرار درجات التفاوت في مستوى سطح البحر، التي حدثت في الماضي الجيولوجي.

في البحث المنشور، يُجْرِي الباحثون تقديرًا كميًّا لدرجات عدم التأكد في نمذجة الغطاء الجليدي في الدراسة الأصلية الخاصة بفرضية عدم استقرار الجروف الجليدية البحرية. ويوضح الباحثون أن توزيعات الاحتمالات تميل نحو القيم الأقل (في ظل تركيزات مرتفعة للغاية من غازات الدفيئة، تبلغ القيمة الأكثر احتمالية 45 سنتيمترًا). إلا أن فرضية عدم استقرار الجروف الجليدية البحرية ليست ضرورية لتكرار تغيرات مستوى سطح البحر، الناجمة عن فقدان الجليد في منطقة القطب الجنوبي في منتصف العصر البليوسيني، أو في آخر فترة بين عصرين جليديين، أو في الفترة بين عامي 1992، و2017؛ فبدون فرضية عدم استقرار الجروف الجليدية البحرية، لا تزال التوقعات تتفق مع الدراسات السابقة (جميع النِّسب المئوية رقم 95 أقل من 43 سنتيمترًا).

يستنتج الباحثون أن التفسيرات السابقة لهذه التوقعات المستندة إلى عدم استقرار الجروف الجليدية البحرية تبالغ في تقدير ارتفاع مستوى سطح البحر خلال هذا القرن؛ فنظرًا إلى أن فرضية عدم استقرار الجروف الجليدية البحرية ليست مُقَيَّدة بشكل جيد، فإن الثقة في التوقعات التي يتم وضعها باستخدام هذه الفرضية قد تستلزم مجموعة أوسع من النماذج المُقَيَّدة من الناحية الرصدية فيما يتعلق بهشاشة الرفوف الجليدية، وانهيار الجروف الجليدية.

T. Edwards *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0901-4

علم الكون

محاكاة تكون نجم فائق الحجم

إنّ أصل الثقوب السوداء فائقة الحجم الموجودة في مراكز المجرّات الهائلة لا يزال غير واضح. وتُعَد الثقوب السوداء الناجمة عن الانهيار المباشر – وهي بقايا لنجوم فائقة الحجم، لها كتل تعادل 10,000 كتلة الشمس تقريبًا – المرشح المثالي لهذا الأصل، إلا أن وجود هذه الثقوب - في حد ذاته - وبيئة تكوُّنها في المراحل المبكرة من عمر الكون لا يزالان محل جدل، كما أن الندرة المفترَضة لهذه الثقوب تجعل نمذجة تكوُّنها أمرًا صعبًا. لقد أظهرت النماذج أن الانهيار السريع للغاز قبل المجرّي (بمعدل انهيار كُتَلي أعلى من قيمة حرجة ما) في الهالات الخالية من المعادن شرط أساسي لتكوُّن لُبّ نجمي أوّلي، يؤدي بعدها إلى تكوين نجم فائق الحجم.

في البحث المنشور، يقدم الباحثون محاكاة للهيدروديناميكيات الإشعاعية للتكوُّن المبكر للمجرّات، الذي يُنتِج هالات خالية من المعادن كبيرة الحجم بما يكفي، ولها معدلات انهيار كُتَلي مرتفعة بما يكفي لتكوُّن نجوم فائقة الحجم. ووجد الباحثون أن الهالات قبل المجرِّية، وسُحُب الغازات المصاحبة لها، التي تتعرض لشدة ليمان-فيرنر، تقدَّر تقريبًا بثلاثة أمثال شدة إشعاع الخلفية، والتي تمر بفترة واحدة - على الأقل - من النمو السريع للكتلة في وقت مبكر من تطورها، تعد بمثابة بيئات مثالية لتكوُّن النجوم فائقة الحجم. يحفز النمو السريع حدوث تسخين ديناميكيّ كبير؛ مما يضخِّم إخماد شدة ليمان-فيرنر، الذي ينشأ عن مجموعة من المجرّات اليافعة، الواقعة على بُعْد 20 كيلو فرسخًا فلكيًّا. والنتائج التي حصل عليها الباحثون تشير بقوة إلى أن ديناميكيات تكوُّن البِنْية، وليس تدفُّق حرج لليمان-فيرنر، هي المحرك الرئيس لتكوُّن ثقوب سوداء هائلة في المراحل المبكرة من عمر الكون. وتوصَّل الباحثون إلى أن أصول الثقوب السوداء الهائلة قد تكون أكثر شيوعًا بكثير مما كان يُعتقد سابقًا في المناطق مفرطة الكثافة في الكون المبكر، بكثافة عددية مسايِرة، تصل إلى 10-3 لكل ميجا فرسخ فلكي مكعب.

J. Wise *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0873-4

رياضيات وحوسبة

التعلم العميق وفهم النظام الأرضي

تُستخدم أساليب التعلم الآلي بشكل متزايد لاستخراج أنماط تدفق البيانات الجغرافية المكانية المتزايدة باطراد، ولإلقاء نظرة فاحصة عليها، ولكن الأساليب الحالية قد لا تكون الأمثل عندما يغلب على سلوك النظام السياق المكاني، أو الزماني.

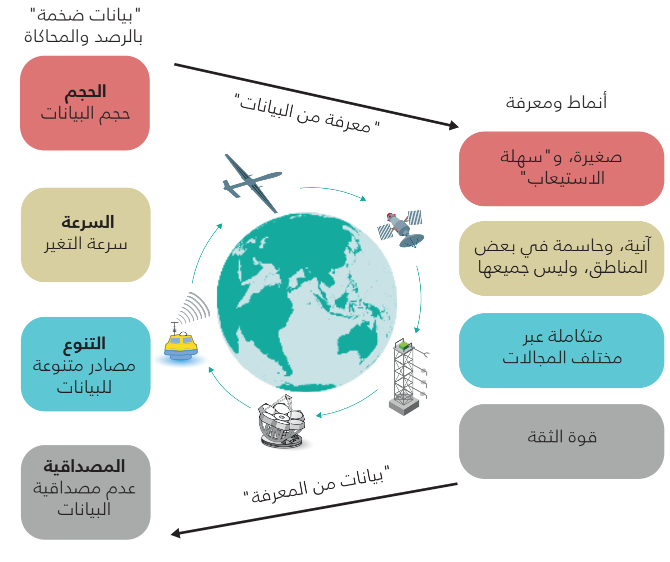
يوضح الباحثون، في البحث المنشور، أهمية استخدام هذه المؤشرات السياقية كجزء من عملية التعلم العميق، (وهو أسلوب قادر على استخراج السمات المكانية الزمانية آليًّا)، بدلًا من تعديل التعلم الآلي الكلاسيكي، وذلك بهدف إثراء فهمنا لعمليات معالجة مشكلات علم النظام الأرضي، مما يحسن القدرة على التنبؤ بالتوقعات المناخية الموسمية، ونمذجة الروابط المكانية بعيدة المدى في عدة نطاقات زمنية، على سبيل المثال.

وسوف تتمثل الخطوة المقبلة في نهج يعتمد على نموذج هجين، يجمع بين نماذج العمليات الفيزيائية، وتعددية التعلم الآلي القائم على البيانات.

M. Reichstein *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0912-١

الشكل أسفله | تحديات البيانات الضخمة في سياق علوم الأرض. يتجاوز حجم البيانات حاليًّا ١٠٠ بيتابايت، ويتزايد بصورة شبه أُسّية (يوضح تقلص الشكل إلى اليمين انخفاض حجم البيانات). تتجاوز سرعة التغير ٥ بيتابايت في السنة؛ حيث تُلتقط البيانات بترددات تصل إلى ١٠ هرتز، أو أكثر؛ مما يجعل من إعادة المعالجة وتعيين الإصدارات تحديات شائعة. ويمكن أن تكون مصادر البيانات ذات أبعاد من أحادية إلى رباعية، ومتكاملة مكانيًّا، بداية من مستوى العضو (مثل الأوراق)، حتى المستوى العالمي. وللأرض أنظمة أرصاد متنوعة، تتراوح ما بين الاستشعار عن بُعد والرصد في الموقع. ويمكن أن تبع مستويات عدم مصداقية البيانات من الأخطاء أثناء الرصد، أو من تضارب المفاهيم.



علم الاجتماع

اسهامات فرق البحث الكبيرة والصغيرة

أحد أكثر التوجهات السائدة في مجالات العلوم والتقنيّة هو ازدياد أعداد الفِرَق البحثيّة الكبيرة في جميع المجالات، مع تدني انتشار الباحثين المنفردين، والفِرَق البحثية الصغيرة. وتُنسب الزيادة في أحجام الفِرَق البحثية إلى تخصصيّة الأنشطة العلميّة، أو التحسينات التي أُدخلت على تقنية الاتصالات، أو تشابك المشكلات الحديثة التي تتطلب حلولًا متعددة الاختصاصات. يثير هذا التحول في حجم الفِرَق البحثيّة تساؤلات عما إذا كانت نوعية العلوم والتكنولوجيا التي تقدمها الفرق البحثيّة الكبيرة تختلف عما تنتجه الفرق الصغيرة، أم لا، وعن كيفية حدوث هذا الاختلاف.

يحلل الباحثون، في البحث المنشور، أكثر من 65 مليونًا من أوراق بحثية، وبراءات اختراع، ومنتجات برمجيّة، صدرت في الفترة الممتدة ما بين عامي 1954، و2014، ويوضحون أنه خلال هذه الفترة اتجهت الفِرَق الأصغر حجمًا إلى إحداث طفراتٍ في مجالات العلوم والتكنولوجيا بأفكارٍ وفرصٍ جديدة، في حين عكفت الفِرَق الأكبر على تطوير الأفكار والفرص الموجودة بالفعل. وتستند أعمال الفِرَق الأكبر إلى التطورات الأحدث والأكثر شعبية، وتخطف أعمالها الأضواء على الفور. وعلى النقيض من ذلك، يُنظر إلى إسهامات الفِرَق الأصغر، التي تتعمق في دراسة الماضي، باعتبارها تزعزع مسار العلوم والتكنولوجيا، وأنها إذا

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

قُدر لها النجاح، سوف تُحدث أثرًا كبيرًا في المستقبل.

ويزداد وضوح الاختلافات المرصودة بين الفِرَق الصغيرة والكبيرة من خلال الأعمال ذات الأثر الأكبر، حيث تُعْرَف الفِرَق الصغيرة بأعمالها الابتكارية، والفِرَق الكبيرة بأعمالها التطويرية. وتفسِّر الاختلافات في موضوعات وتصاميم الأبحاث جزءًا بسيطًا من العلاقة بين حجم الفريق البحثي، وأثره؛ حيث ينشأ أغلب التأثير على المستوى الفردي، أثناء انتقال الأفراد فيما بين الفِرَق الأصغر والأكبر حجمًا.

توضح هذه النتائج أن كلا النوعين من الفرق البحثية؛ الصغيرة، والكبيرة ضروريّان لإثراء أوساط العلوم والتكنولوجيا، كما تشير إلى ضرورة أن تهدف السياسات العلميّة إلى دعم التنوع في أحجام الفِرَق البحثيّة، من أجل تحقيق ذلك.

L. Wu *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0941-9

طوبولوجيا

فهرس المواد الطوبولوجية

تُبدِي المواد الإلكترونية الطوبولوجية؛ مثل سيلينيد البزموت، وزرنيخيد التانتالوم، وبزموتيد الصوديوم استجابة خطية غير تقليدية في معامل انضغاطها، بالإضافة إلى حالات شاذة تخلو من الفجوات عند حدودها. وهي ذات أهمية أساسية، وتطبيقية، على حد سواء، في ظل إمكانية استخدامها في الأجهزة الإلكترونية عالية الأداء، والحوسبة الكمية. إلا أن صعوبة حساب الخصائص الطوبولوجية الثابتة (أو العقد الطوبولوجية) لتلك المواد، التي تتطلب خبرة في التعامل معها، وبراعة في استخدام الأدوات النظرية الحديثة، لطالما كانت تقف حائلًا أمام رصدها حتى الآن.

يقدم الباحثون، في البحث المنشور، خوارزمية فعالة، تتسم بالكفاءة، وآلية بالكامل، تتعرف على طوبولوجيا النطاقات المعقدة في نسبة كبيرة من المواد غير المغناطيسية. وتعتمد هذه الخوارزمية على تعيينات شاملة طُورت حديثًا بين أشكال تماثل النطاقات المأهولة، والثوابت الطوبولوجية، حيث فحص الباحثون عددًا من المواد، يبلغ مجموعه 39,519 مادة، متاحًا في قاعدة بيانات للمواد البلورية، ووجدوا أن ما يصل إلى 8,056 من هذه المواد معقد طوبولوجيًّا. وأُتيحت جميع النتائج بشكل قابل للبحث في قاعدة بيانات ذات واجهة مستخدم تفاعلية.

T. Zhang *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0944-6

الفيزياء الفلكية عالية الطاقة

تدفُّق راديوي سريع عند ترددات منخفضة

إن التدفق الراديوي السريع (FRBs) هو عبارة عن ومضات راديوية شديدة التشتت، تدوم لمدة ملي ثانية، وتنبع - على الأرجح - من مصدر بعيد خارج مجرّة درب التبانة. واكتُشفت هذه الظاهرة عند ترددات راديوية تقترب من 1.4 جيجاهرتز. وحتى الآن، رُصدت في حالة واحدة عند تردد عال، يصل إلى 8 جيجاهرتز، ولكنْ لم تُرصد عند تردد أقل من 700 ميجاهرتز، بالرغم من عمليات البحث المكثفة عند الترددات المنخفضة.

يكشف الباحثون، في البحث المنشور، عن رصد 13 تدفقًا راديويًّا سريعًا عند ترددات راديوية منخفضة، تصل إلى 400 ميجاهرتز، أثناء التجربة الكندية لقياس كثافة الهيدروجين، وتُعرف اختصارًا بـ(CHIME)، باستخدام معدات رصد التدفق الراديوي السريع لتليسكوب التجربة (CHIME/FRB)، حيث رُصدت أحداث التدفق هذه خلال مرحلة ما قبل التشغيل، قبل أن يتم ضبط كل من الحساسية، ومجال الرؤية، وفقًا لمواصفات التصميم. ولوحظ الانبعاث في عدة أحداث عند ترددات منخفضة، تصل إلى 400 ميجاهرتز، وهو أقل تردد راديوي تلتقطه حساسية التليسكوب. ويُظْهِر التدفق الراديوي السريع سلوكيات متنوعة من التشتت الزمني، حيث إن أغلبه متشتت بدرجة قابلة للرصد، وبعضه على ما يبدو غير متشتت ضمن نطاق من عدم التيقن في قياسات الباحثين، حتى عند أقل الترددات. ومن أصل 13 تدفقًا راديويًّا سريعًا تم رصدها في البحث المنشور، أظهر تدفق وحيد أقل مستوى تشتت تم رصده حتى الآن، مما يشير إلى أنه من ضمن أقرب أحداث تدفق رُصِدت حتى وقتنا هذا. وأظهر تدفق آخر عدة انفجارات متكررة، كما هو موضح في بحثٍ مُرفَق.

يشير إجمالي خصائص التشتت للعينات التي رصدها الباحثون إلى أن أحداث التدفق الراديوي السريع توجد - على نحو تفضيلي - كمجموعة في البيئات التي تُشتِّت موجات الراديو بصورة أقوى من الوسط الانتشاري بين النجوم في مجرّة درب التبانة.

The CHIME/FRB Collaboration

doi: 10.1038/s41586-018-0867-7

علم خواص المواد

تلون بالانعكاس الداخلي وتداخل الضوء

يُنتِج العديد من الظواهر الفيزيائية ألوانًا، مثل: الامتصاص الانتقائي للضوء، اعتمادًا على الطيف، باستخدام مواد التلوين والصبغات، والتشتت البصري المحدد بالمادة، وتداخل الضوء في بِنى دورية ميكرومترية، ونانوية. ناهيك عن أن آليات التشتت، والحيود، والتداخل هي خصائص أساسية في القطيرات الكروية، تسهم في حدوث ظواهر في الغلاف الجوي؛ مثل: الهالات الضوئية، والأكاليل، وأقواس قزح.

في البحث المنشور، يصف الباحثون آلية لم يتم التعرف عليها من قبل، لإنتاج لون بنيوي قزحي، ذي انفصال طيفي زاوي كبير، إذ يمكن للضوء المنتقل عبر مسارات مختلفة من الانعكاس الداخلي الكلي عند سطح بيني ضوئي مقعر أن يتداخل؛ ليولد أنماطًا خلابة من الألوان. وينشأ التأثير عند سطوح بينية ذات أبعاد تفوق الطول الموجي للضوء المرئي برتب أُسّية، ويسهل رصده في أنظمة بسيطة للغاية، مثل قطرات الماء المتكثفة على ركيزة شفافة. يستغل الباحثون أيضًا هذه الظاهرة في أنظمة معقدة، مثل القطيرات متعددة الأطوار، والسطوح البوليميرية المزخرفة ثلاثية الأبعاد، والجسيمات الصلبة المجهرية، لإنتاج أنماط من الألوان القزحية، متسقة مع التنبؤات النظرية.

مِن السهل إنتاج مثل هذا التلون البنيوي الذي يمكن التحكم فيه على سطوح بينية مجهرية. ولذلك، يتوقع الباحثون أن تلعب مبادئ التصميم، والنظرية التنبؤية الموضحة في البحث المنشور دورًا مهمًّا في كل من الاستكشاف الأساسي في علم البصريات، والاستخدام في الأحبار، والدهانات الغروية، وشاشات العرض، وأجهزة الاستشعار.

A. Goodling *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0946-4

ميكانيكا حيوية

الحركة المتناوبة لفك الثدييات أثناء المضغ

على مدى القرنين الماضيين، كانت حركة المضغ والسمات التشريحية المرتبطة بها لدى الثدييات من أكثر السمات التي نوقشت بين جميع التغيرات التطورية في الفقاريات. على رأس هذه السمات ثمة صفتان، هما: صفة الفك السفلي المكوَّن من عظم سنِّي فقط، وصفة السِّن الطاحنة ثلاثية الحَدَبات، بشرفها العلوية المثلثية، وحوضها المُخَيلِي السفلي. ويُعتَقَد أن المفصل المرن للفك السفلي، والارتفاق غير الملتحِم في سلائف الثدييات - إلى جانب التحوُّلات التي تحدث في مجموعة العضلات المُقرِّبة والحنك - قد سمحت كلها بحركة أكبر لكل فكّ سفلي، أو نصف فكّ. وبعد ظهور الإطباق السِّنّي الدقيق قرب منشأ التاج لدى الثدييات، طَوَّرتْ الوحشيات، وهي فرع حيوي من الثدييات، سِنًّا طاحنة ثلاثية الحَدَبات، وكثيرة التضاريس، يُفترض أنها استُخدِمت لالتقاط الطعام، وتقطيعه، وطحنه.

في البحث المنشور، يصف الباحثون حركات المضغ الخاصة بالأسنان الطاحنة ثلاثية الحَدَبات لدى سلائف الوحشيات، كما حوفظ عليها في حيوان الأبوسوم قصير الذيل *Monodelphis domestica*. هذه الحركات عبارة عن تسلسل متناظر وبسيط لانقلاب صف الأسنان السفلية نحو الخارج، ونحو الداخل، في أثناء فتح الفك وغلقه - على التوالي - نتيجة للتناوب بين أنصاف الفكوك عبر المحور الطويل. يقترن هذا التسلسل بحركات طاحنة تناوبية بانقلاب نحو الخارج، ونحو الداخل.

يستنتج الباحثون أن حركات المضغ لدى سلائف الوحشيات اعتمدت بشكل كبير على التناوب عبر المحور الطويل، بما في ذلك الانقلاب المتناظر نحو الخارج، ونحو الداخل (الموروث من ثدييات الشكل Mammaliaformes الأولية)، واعتمدت كذلك على الحركات الطاحنة المتناوبة على غرار ضربات المدقة على الهاون، الموروثة - مع السِّن الطاحنة ثلاثية الحَدَبات - من مجموعة الوحشيات الأشمل (Stem Group) المنقرضة.

B. Bhullar *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0940-x

كواكب عملاقة

القمر الداخلي السابع لكوكب نبتون

في عام 1989، صورت المركبة الفضائيّة «فويدجر 2» Voyager 2 – أثناء تحليقها على مسافة قريبة –ستة أقمار صغيرة لكوكب نبتون، جميعها لها مدارات تقع بالكامل إلى الداخل من مدار القمر الكبير ذي الحركة التراجعية «ترايتون» Triton. هذه الأقمار من المحتمل أن تكون – هي ومجموعة من الحلقات المجاورة لها – أقل عمرًا من نبتون ذاته، حيث إنها تكونت بعد فترة وجيزة من أَسْر «ترايتون»، ويُحتمل أن يكون معظمها قد تفتت عدة مرات، نتيجة لتصادمات مع المذنّبات.

في البحث المنشور، يعرض الباحثون أرصادًا من تليسكوب هابل الفضائي لقمر داخلي سابع، هو «هيبوكامب» Hippocamp، وهو يصغر الأقمار الستة الأخرى، حيث إن متوسط نصف قطره يبلغ حوالي 17 كيلومترًا. يرصد الباحثون أيضًا القمر «نايادٍ» Naiad، وهو القمر الأقرب لنبتون، الذي شُوهد آخر مرة في عام 1989. ويقدم الباحثون قياسات فلكية وتقديرات مدارية وتقديرات للأحجام لجميع الأقمار الداخلية، باستخدام أسلوب للتحليل يتضمن تحويرًا للصور المتعاقبة؛ لموازنة الحركة المدارية لكل قمر، وهو أسلوب قد يكون قابلًا للتطبيق في عمليات البحث عن أقمار أخرى، وعن كواكب خارج المجموعة الشمسية.

يدور القمر «هيبوكامب» بالقرب من القمر «بروتيوس» Proteus، أكبر هذه الأقمار وأبعدها عن الكوكب، ويختلف نصفا المحورين الأكبرين المداريين لهذين القمرين بمقدار عشرة في المائة فحسب. لقد ارتحل القمر «بروتيوس» نحو الخارج، نتيجة للتفاعلات المَدِّية الجَزْرية مع نبتون. وتشير النتائج التي توصَّل إليها الباحثون إلى أن القمر «هيبوكامب» يُحتمل أن يكون كِسْرة قديمة من القمر «بروتيوس»، الأمر الذي يعزز الفرضية القائلة إن النظام الداخلي لنبتون قد تَشَكَّل نتيجة للعديد من التصادمات.

M. Showalter *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0909-9

الشكل أعلاه | أرصاد القمر «هيبوكامب» Hippocamp، مشهد من الزيارة 04 من البرنامج GO-10398 يوضح أول رصد للقمر «هيبوكامب» في 9 ديسمبر 2004. يوجد نبتون خلف القناع الساتر لقناة الاستبانة العالية. ب، الزيارة 08 من البرنامج GO-10398 في 12 مايو 2005. جـ، مشهد من المدار الأول أثناء الزيارة 01 من البرنامج GO-11656 في 19 أغسطس 2009. يرجع النطاق الرمادي الرأسي إلى وهج التشبع الخاص بنبتون، وفيه تميل البِكسلات شديدة التشبع بجهاز اقتران الشحنة إلى تشبيع البِكسلات المجاورة أعلاها وأدناها. د، الزيارة 03 من البرنامج GO-14217 في 2 سبتمبر 2016. تم تدوير اللوحتين «أ»، و«ب» بمقدار 90° عكس عقارب الساعة. في كل لوحة، يوضح المربع الصغير موقع «هيبوكامب»، وتَظهَر لقطة مقرَّبة في الصورة الصغيرة المُدمَجة. كما يوضح الشكل الأقمار الأخرى، وحدود نبتون.

التحرير الجيني

عائلة جديدة من أدوات تحرير الجينوم

يوفِّر البروتينان Cas9، و Cas12a الموجَّهان بالحمض النووي الريبي، والمرتبطان بتكرارات «كريسبر» CRISPR مناعة تكيُّفية ضد الأحماض النووية الغازية، ويعملان كأدوات قوية لتحرير الجينوم في مجموعة كبيرة من الكائنات الحية.

في البحث المنشور، يكشف الباحثون عن الآليات الكامنة وراء منصة ثالثة قائمة بذاتها، موجَّهة بالحمض النووي الريبي لتحرير الجينوم، وهي منصة تُدعى «كريسبر-كاس إكس» CRISPR–CasX . تَستخدِم هذه المنصة بِنى فريدة للربط، والقصّ القابلين للبرمجة للحمض النووي مزدوج الشريط. تُظهِر بيانات الدراسات الحيوية الكيميائية وبيانات الدراسات على الجسم الحيّ أن «كاس إكس» ينشط في تعديل جينوم بكتيريا الإشريكية القولونية *Escherichia coli* ، والجينوم البشري.

وتكشـف ثماني بِنى مجهرية لـ«كاس إكس» - بالفحص المجهري الإلكتروني فائق البرودة - في حالات مختلفة من التجميـع مع ركائزه من الحمض النووي الريبـي الموجِّه والحمض النووي مزدوج الشـريط عن سقالة ممتدة من الحمـض النووي الريبي، وعن مجال ضـروري لفك الحمض النووي. توضح هذه البيانات كيف ظهر نشـاط «كاس إكس» من خلال التطور المتقارب؛ ليؤسـس عائلة إنزيمية منفصلة وظيفيًّا عن كلٍّ من Cas9، وCas12a.

J. Liu *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0908-x

سرطان

نمطين لنمو سرطان البنكرياس

تُعتبر الخلايا الظهارية الأنبوبية إحدى وحدات البناء الأساسية لأعضاء الجسم، وموقعًا شائعًا للإصابة بالسرطان. ففي أثناء تكوُّن الورم، تفرط الخلايا المتحولة في الانقسام، وتضطرب بِنْية الخلايا الظهارية. ومع ذلك، فإن المؤشرات الفيزيائية الحيوية الكامنة وراء اتخاذ أنسجة الورم لأشكال شاذة غير معروفة.

يوضح الباحثون، في البحث المنشور، أن مورفولوجيا أورام الخلايا الظهارية في بنكرياس الفئران تحدَّد بواسطة التأثير المتبادل للتغيرات الهيكلية الخلوية في الخلايا المتحولة، والشكل الهندسي الأنبوبي القائم. ولتحليل التغيرات المورفولوجية في بِنْية الأنسجة في بداية تشكُّل السرطان؛ طوَّر الباحثون تقنية تصوير ثلاثي الأبعاد للعضو بالكامل، تمكّن من تحليل الأنسجة بقوة توضيح تبلغ خلية واحدة. وأدى التحول المسرطن في القنوات البنكرياسية إلى نمطين من نمو الأورام: آفات خارجية التنبّت، نَمَتْ إلى خارج القناة، وآفات داخلية التنبّت، نَمَتْ إلى داخل تجويف القناة. وكان نشاط الميوسين أعلى عند قمة الخلايا برية النمط، مقارنة بنشاطه عند قاعدتها، ولكنْ عند التحوّل السرطاني يختفي هذا التدرج في كلا نوعي الآفات.

وأشارت عمليات محاكاة النموذج الرأسي ثلاثي الأبعاد، ونظرية ميكانيكا الأوساط المتصلة للخلايا الظهارية، إلى أن التغيرات الهيكلية الخلوية التي تم رصدها في الخلايا المتحولة، إلى أن قُطْر الخلايا الظهارية الأصلية يحدد مورفولوجيا الأورام النامية. وكشف التصوير ثلاثي الأبعاد – بالاتساق مع تنبؤات النظرية – أن القنوات البنكرياسية الصغيرة كَوَّنَت أورامًا خارجية التنبت، في حين تشوهت القنوات الكبيرة بفعل أورام داخلية التنبّت.

وقد لوحظت أنماط مماثلة لنمو الآفات في الخلايا الظهارية الأنبوبية في الكبد، والرئة. وتحدِّد هذه النتيجة انحناء الأنسجة، واختلال توازن التوتر في الأنسجة، كعاملَين أساسيَّين في تشكيل أورام الخلايا الظهارية.

H. Messal *et al*.

doi: 10.1038/s41586-019-0891-2

فوتونات فائقة السرعة

تأثير آينشتاين-دي هاس فائق السرعة

رُصد تأثير آينشتاين-دي هاس لأول مرة في تجربة فارقة أثبتت أن الزخم الزاوي المصاحب للحركات المغزلية المُصْطَفّة للإلكترونات في مغناطيس عالي النفاذية المغناطيسية يمكن تحويله إلى زخم زاوي ميكانيكي، عن طريق عكس اتجاه المغنطة باستخدام مجال مغناطيسي خارجي. وثمة مشكلة مصاحِبة تتعلق

بالنطاق الزمني لهذا التحوُّل في الزخم الزاوي. لقد أثبتت التجارب أن الاستثارة الفوتونية الشديدة في عدة مغناطيسات معدنية عالية النفاذية المغناطيسية تؤدي إلى انخفاض في المغنطة في نطاق زمني أقصر من 100 فيمتو ثانية، وهي ظاهرة يُطلق عليها "الزوال فائق السرعة للمغنطة". وعلى الرغم من أن الآلية المجهرية لهذه العملية شهدت نقاشات محتدمة، إلا أنّ سؤالًا جوهريًّا ما زال بلا إجابة: أين يذهب الزخم الزاوي في هذه النطاقات الزمنية المُقاسة بالفيمتو ثانية؟

في البحث المنشور، يستخدم الباحثون حيود الأشعة السينية المفصول زمنيًّا بفواصل مُقاسة بالفيمتو ثانية؛ لتوضيح أن معظم الزخم الزاوي المفقود من نظام الحركة المغزلية، عند إزالة مغنطة الحديد عالي النفاذية المغناطيسية بالحث الليزري، ينتقل إلى الشبكة في نطاقات زمنية أقل من البيكو ثانية، مطلقًا موجة انفعال مستعرَضة، تنتشر من السطح إلى داخل الكتلة. وعن طريق ملاءمة نموذج بسيط لبيانات الأشعة السينية مع عمليات المحاكاة والبيانات الضوئية، يقدِّر الباحثون أن انتقال الزخم الزاوي يحدث في نطاق زمني، قدره 200 فيمتو ثانية، ويكافئ 80 في المئة من الزخم الزاوي المفقود من نظام الحركة المغزلية. وتوضح النتائج التي توصَّل إليها الباحثون أن التفاعل مع الشبكة يلعب دورًا أساسيًا في عملية الزوال فائق السرعة للمغنطة في هذا النظام.

C. Dornes *et al.*

doi: 10.1038/s41586-018-0822-7

سلوك الحيوان

استراتيجيات التكاثر عند طائر الوقواق

تصبح الطيور التي تتعاون في بناء أعشاشها ورعايتها عُرضة لطيور أخرى متطفلة اجتماعيًّا، تضع بيضها في أعشاش المضيف، لكن دون أن تقدم الرعاية الأبوية. وقد ركَّز معظم الأبحاث السابقة على سباق التسلح التطوري المشترك القائم بين دفاعات المضيف من جهة، والطفيليات التي تحاول التحايل على هذه الدفاعات من جهة أخرى، ولكنْ ما زال من غيرَ الواضح لماذا تتعاوُن الإناث في بعض الأحيان، وتتطفل في أحيان أخرى، وكيف تنشأ أساليب التطفل داخل الأنظمة القائمة على التعاوُن.

يوضِّح الباحثون، في البحث المنشور، أن استراتيجيتي التكاثر التعاوني، والتطفلي يؤتيان الثمار نفسها تقريبًا في لياقة طائر الآني الكبير (*Crotophaga major*)، أحد طيور الوقواق الاستوائية المُعمرة، مستخدمين مجموعة بيانات تُغطي 11 عامًا، وبيانات جينية شاملة تمكِّن من عقد مقارنات بين تواريخ حياة أفراد من الإناث. ووجد الباحثون، أن غالبية إناث المجموعة الخاضعة للدراسة اتبعت استراتيجية التعاون في بناء أعشاشها ورعايتها في بداية موسم التناسل. وبرغم ذلك، فقد سلكت قلة من هذه الطيور - التي دُمِّرت أعشاشها الأولى – نهج التكاثر التطفلي لاحقًا. وكانت القابلية لإظهار سلوك التطفّل معرضة للتكرار بدرجة مرتفعة، وهو ما يشير إلى تخصص أفراد في أدوار بعينها. وعلى مدار سنوات، كان مردود الاستراتيجيتين على لياقة الطيور متساويًا تقريبًا؛ فالإناث اللاتي لم تتطفل على الإطلاق (أي التي اتبعت استراتيجية «تعاونية خالصة»)، وضعت عددًا أكبر من البيض، ورَعَتْ عددًا أكبر من صغار الطيور في أعشاشها، إلى أنْ نمى ريش هذه الصغار، وغادرت أعشاشها، مقارنة بالإناث التي رعت أعشاشها، وتطفلت على أخرى، على حد سواء (اتبعت استراتيجية «مختلطة»).

وتشير نتائج الباحثين إلى أن نجاح الطيور المتطفلة مقيّد بتضحيات في التكاثر، بالإضافة إلى تقيُّده بدفاعات المضيف. وتوضح النتائج كيف يمكن لاستراتيجيتَي التعاون، والتطفل التواجد في آن واحد – بشكل ثابت – في المجموعة نفسها الخاضعة للدراسة.

C. Riehl *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0981-1

علم تشكل الأرض

شلالات ذاتية التكون من قواعد صخرية

تُعتبر الشلالات تضاريس أرضية ملهمة، تحدد وتيرة تطوُّر معالم الطبيعة، نتيجة لتشقق القواعد الصخرية. فهي تنقل التغيرات في مستوى سطح البحر، أو الزيادة التكتونية في جميع أنحاء المعالم الطبيعية، أو تُوقِفُ انشقاق نهر، ما يتسبب في فصل التضاريس عن اضطرابات مجرى النهر.

في البحث المنشور، يَستخدِم الباحثون تجربة على قناة مائية اصطناعية تتسم بثبات كل من التصريف المائي، والإمداد بالرواسب؛ لإثبات إمكانية تكوُّن الشلالات من أساس قاعدي صخري مسطح، متجانس في غياب الاضطرابات الخارجية. ففي تجربة الباحثين، تؤدي الاضطرابات في الخصائص الهيدروليكية للتدفق، ونقل الرواسب، وتآكل القاعدة الصخرية إلى تكوُّن أساسات متموجة، تكبر لتصبح شلالات. ويرى الباحثون أنه من المنطقي أن يكون أصل بعض الشلالات في الأنظمة الطبيعية منسوبًا إلى عملية التشكل الذاتي هذه، ويشيرون إلى أن إجراء دراسات استقصائية، للتمييز بين الشلالات ذاتية المنشأ، وتلك الناشئة عن قوى خارجية، قد يساعد على تحسين عملية إعادة نمذجة تاريخ الأرض باستخدام المعالم الطبيعية.

J. Scheingross *et.al*.

doi:10.1038/s41586-019-0991-z

علم الطفيليات

استراتيجية جديدة لمنع عدوى الملاريا

تَنقِل لدغات البعوض من جنس *Anopheles* طفيليات *Plasmodium falciparum* المُسببة للملاريا التي تقضي على حياة مئات الآلاف من البشر سنويًّا. ومنذ مطلع هذا القرن، شهدت الجهود المبذولة لمنع نقل العدوى بهذه الطفيليات – من خلال التوزيع واسع النطاق لناموسيات مُعالَجة بالمبيدات الحشرية – نجاحًا كبيرًا، وأدت إلى انخفاض غير مسبوق في عدد الوفيات الناجمة عن الملاريا، غير أن مقاومة عشائر بعوض جنس *Anopheles* للمبيدات الحشرية أصبحت واسعة النطاق، وهو ما يهدد بتجدُّد ظهور مرض الملاريا على مستوى العالم، ويجعل من ابتكار أدوات فعالة لمكافحة هذا المرض أولوية عاجلة في مجال الصحة العامة.

في البحث المنشور، يثبت الباحثون أن تطوُّر طفيليات *P. falciparum* يمكن وقفه سريعًا وبشكل كامل عندما تتلقى إناث البعوض من جنس *Anopheles gambiae* تركيزات منخفضة من مركّبات معينة مضادة للملاريا من على سطوح مُعالَجة، في ظروف تحاكي عملية ملامسة البعوض للناموسيات. إنّ تعرُّض البعوض لمركّب «أتوفاكون» Atovaquone قبل إصابته بالعدوى بطفيليات *P. falciparum*، أو بعدها بفترة وجيزة، يتسبب في حدوث احتجاز كامل لهذه الطفيليات في المعيّ المتوسط للبعوض، ويمنع نقل العدوى. ويمكن تحقيق تأثيرات مشابِهة مانعة لنقل العدوى باستخدام أنواع أخرى من مثبطات سيتوكرومb، وهو ما يوضح أن وظيفة الميتوكوندريا لدى الطفيليات تمثل هدفًا مناسبًا للقضاء على هذه الطفيليات.

يُنْبِئ دمْج هذه التأثيرات في نموذج لديناميكيات انتقال الملاريا بأنّ تشريب الناموسيات بمثبطات طفيليات *Plasmodium* من شأنه أن يقلل - إلى حد كبير - الآثار الصحية العالمية لمقاوَمة البعوض للمبيدات الحشرية. وتكشف هذه الدراسة النقاب عن استراتيجية قوية لمنع انتقال طفيليات جنس *Plasmodium* من خلال إناث بعوض جنس *Anopheles*، وهي استراتيجية ستكون لها نتائج واعدة فيما يتصل بالجهود المبذولة للقضاء على مرض الملاريا.

D. Paton *et al.*

doi: 10.1038/s41586-019-0973-1

استقلاب السرطان

استهداف الأورام الأرومية الدبقية

إن المثبطات المخصصة للسرطان، التي تعكس الاحتياجات الأيضية الفريدة للخلايا السرطانية، نادرة. وفي البحث المنشور، يصف الباحثون «الجيبوكسين» Gboxin بأنه جزيء صغير يثبط – على وجه التحديد – نمو خلايا الورم الأرومي الدبقي الأوّلي في الفئران، والإنسان، ولكنه لا يؤثر في الأرومات الليفية الجنينية في الفئران، أو الخلايا النجمية في حديثي الولادة. ويُنْقِص «الجيبوكسين» - بمعدل سريع، وبشكل غير قابل للانعكاس - من استهلاك الأكسجين في خلايا الورم الأرومي الدبقي.

ويعتمد «الجيبوكسين» على شحنته الموجبة؛ للارتباط بمركبات عملية الفسفرة المؤكسِدة في الميتوكوندريا، بطريقة تعتمد على تدرج البروتونات على الغشاء الداخلي للميتوكوندريا، ويثبط «الجيبوكسين» نشاط المخلقة F_0F_1 ATP. وتتطلب الخلايا المقاومِة لـ«جيبوكسين» وجود مسام انتقال عاملة لنفاذية الميتوكوندريا، تعمل على تنظيم الأس الهيدروجيني، وبالتالي تعوق تراكم «الجيبوكسين» في مصفوفة الميتوكوندريا.

ويؤدي تَلَقِّي نظائر «الجيبوكسين» المستقرة أيضًا إلى تثبط الطعوم الخيفية للورم الأرومي الدبقي، والطعوم الأجنبية المأخوذة من المرضى. ويمتد تأثير «الجيبوكسين» السام ليشمل خطوط خلايا الأورام السرطانية البشرية الراسخة الناشئة في أعضاء متنوعة، ويبيّن أن ارتفاع التدرج البروتوني، والأس الهيدروجيني في ميتوكوندريا الخلايا السرطانية يمثل آلية عمل يمكن استهدافها؛ لتطوير كواشف مضادة للأورام.

Y.Shi *et al.*

doi:10.1038/s41586-019-0993-x

صندوق الأدوات

الطباعة ثلاثية الأبعاد داخل المختبرات

في ظل تراجع كُلفة الطابعات ثلاثية الأبعاد، بدأ الباحثون في استخدامها في تصنيع كل شيء، بدءًا من المعدات المصمَّمة حسب الطلب لأغراض التجارب، وانتهاءً بالنماذج الحقيقية للأعضاء البشرية.

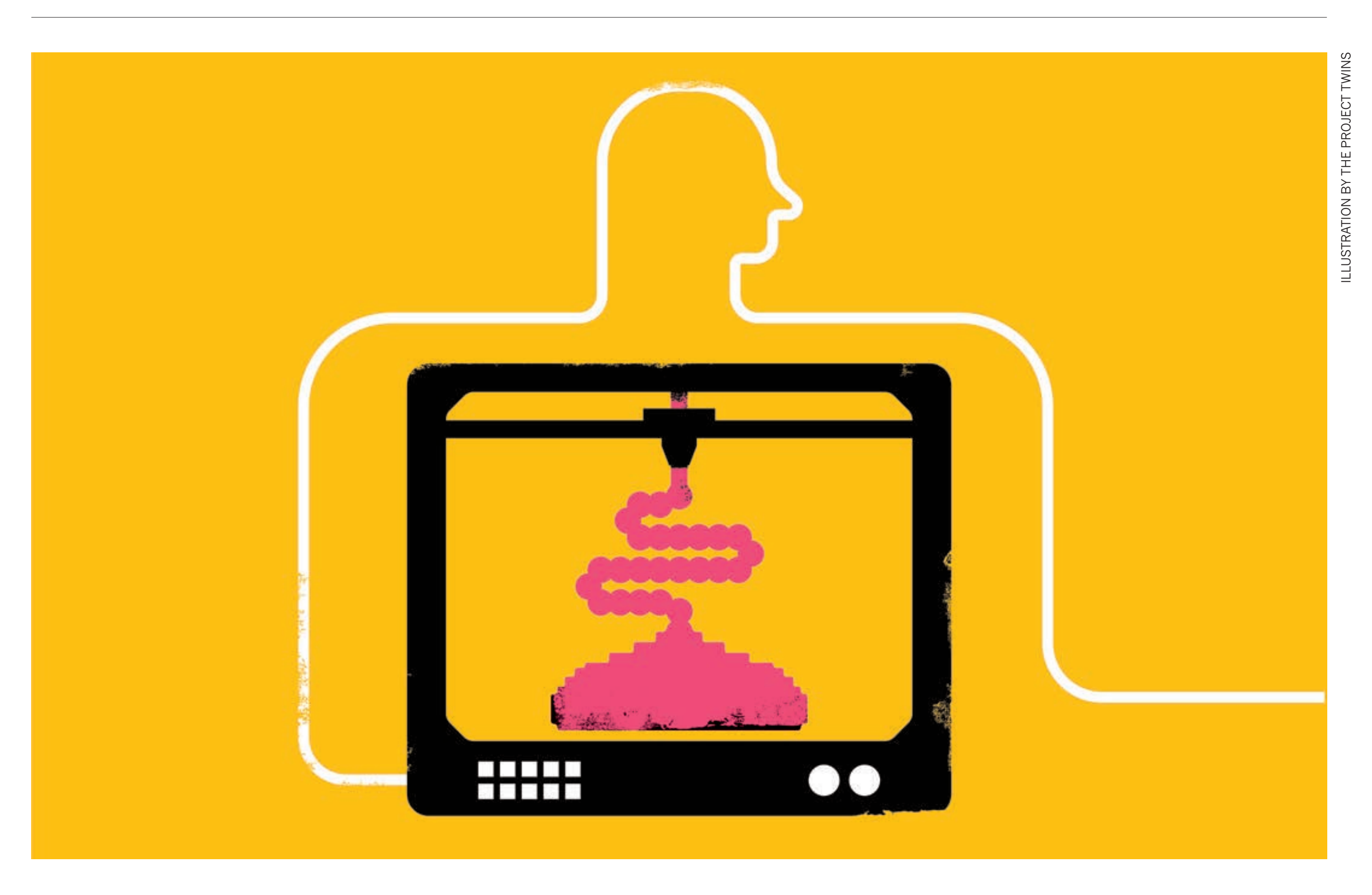


ILLUSTRATION BY THE PROJECT TWINS

أندرو سيلفر

يُجْري فالنتاين أنانيكوف، الكيميائي بمعهد زيلينسكي للكيمياء العضوية في موسكو، تفاعلات كيميائية غاية في الدقة، لدرجة أن أثرًا ضئيلًا فحسب من الجسيمات النانوية الفلزية، لا يتعدى حجمه حجم جرثومة بكتيرية واحدة، قد يتسبب في تغيير نتائج أبحاثه. ولذا، عندما ينتهي مختبر أنانيكوف من تجربة ما، يتعين إجراء تنظيف صارم للمختبر، أو على الأقل هكذا كانت تَجرِي الأمور. وعليه، بدأ أنانيكوف في عام 2016 صنع أوعية للتفاعلات الكيميائية، يتم استخدامها مرة واحدة، ثم يتم التخلص منها، معتمِدًا في ذلك على تقنية استحوذت على خيال المولعين بفكرة تنفيذ الأشياء ذاتيًّا، وكذلك خيال المهندسين والعلماء على حد سواء؛ ألا وهي «الطباعة ثلاثية الأبعاد».

في الطباعة ثلاثية الأبعاد، التي تُعرف كذلك باسم «التصنيع بالإضافة»، يجري تحويل نموذج حاسوبي ثلاثي الأبعاد إلى مجسم مادي، وذلك بإضافة طبقة تلو الأخرى، في عملية تشبه تغطية الكعك بطبقات الزينة. يَستخدم فريق أنانيكوف هذه التقنية لصنع مفاعلات كيميائية، مصممة حسب الطلب، في غضون أيام، بدلًا من انتظار تصنيعها وشحنها من أحد الموردِّين الخارجيين في عملية تستغرق أسابيع، وربما أكثر. الأهم من ذلك، أن تكلفة البلاستيك المستخدَم في الطباعة ثلاثية الأبعاد منخفضة للغاية، وهو ما يمكِّن الفريق من التعامل مع المعدات باعتبارها مواد استهلاكية قابلة للاستعمال مرة واحدة، ومن ثم يمكن التخلص منها، دون حاجة إلى إجراء تنظيف. يقول أنانيكوف: "لقد صارت الطباعة ثلاثية الأبعاد الآن نوعًا من الأدوات المعتادة لدى مختبرات الأبحاث التي تتعامل مع مشروعات متعددة التخصصات".

شهدت الطابعات ثلاثية الأبعاد إقبالًا واسعًا على اقتنائها بين أعضاء "ثقافة الصنَّاع"، وذلك لأغراض تعليمية، ولإنتاج أشياء مبتكرة؛ إلا أن استعمال هذه الطابعات كأدوات قياسية في المختبرات العلمية تتزايد وتيرته بالمثل، إذ يمكن للباحثين الاستعانة بهذه الطابعات لإحلال الأجزاء المكسورة في الأجهزة، وصنع حاملات للعينات، مُعَدَّة حسب الطلب، إلى جانب تصنيع نماذج مجسَّمة لكل شيء، بدءًا من الجزيئات الحيوية، وانتهاءً بالصخور النفطية. وإضافة إلى ذلك، يمكن للأطباء الإكلينيكيين استخدام هذه الطابعات لصناعة الطعوم، والنماذج التعليمية.

يمكن طباعة المجسمات ثلاثية الأبعاد باستخدام تقنيات عديدة، غير أن واحدة من التقنيات الأوسع انتشارًا، هي تقنية التصنيع بالخيوط المنصهرة (FFF)، التي يُطلق عليها أيضًا «النمذجة بالترسيب المنصهر». وفي هذا النوع، يُسخَّن خيط رفيع ملون – عادةً ما يكون سلكًا بلاستيكيًّا – ويُدفع خارجًا؛ ليكوِّن ◄

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

شكلًا عن طريق إضافة طبقة واحدة في المرة. وفي المقابل، تَستخدِم تقنية الطباعة الحجرية الفراغية - وهي تقنية ظهرت قبلها - خزانًا من الراتنج السائل المُنشَّط بالضوء، الذي يتحول إلى أشكال صلبة مُفصلة باستخدام الليزر. وعادةً ما تُنتِج طابعات التصنيع بالخيوط المنصهرة مجسمات أقل تفصيلًا من الطابعات الحجرية الفراغية، ولكنها أسهل استخدامًا، وأقل تكلفةً.

يتراوح سعر طابعات التصنيع بالخيوط المنصهرة المتاحة بشكل تجاري بين مئات الدولارات، وآلاف الدولارات. وبوسع الباحثين بناء المكونات المادية للطابعة بأنفسهم، مستعينين بالتجهيزات أو التصاميم التي يتيحها مشروع «ريب راب» RepRap مفتوح المصدر، مقابل بضع مئات من الدولارات.

إن الطباعة ثلاثية الأبعاد ليست شيئًا جديدًا؛ فالطابعات التي تعمل بتقنية الطباعة الحجرية الفراغية موجودة منذ ثمانينيات القرن العشرين، بيد أن تراجع الأسعار جعل هذه التكنولوجيا متاحة على نطاق واسع. وفيما يلي نستعرض أربعة أساليب، استغل الباحثون من خلالها تقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد.

تصنيع المعدات في الميدان

يعمل جوليان ستيرلينج، الفيزيائي بجامعة باث بالمملكة المتحدة، ضمن فريق نجح في تصميم مجاهر ضوئية، يمكن تصنيعها من مكونات بلاستيكية مطبوعة بتقنية الطباعة ثلاثية الأبعاد. تهدف الفكرة إلى تصنيع هذه المجاهر ميدانيًّا في تنزانيا، واستعمالها في تشخيص حالات الملاريا، من خلال البحث عن الطفيليات في الدم. يقول ستيرلينج إن تنزانيا تعاني نقصًا في المعرفة الميكانيكية، وفي المكونات المتاحة محليًّا؛ لإصلاح المعدات العلمية، وقد يكون استيراد المكونات مكلفًا، ويستغرق وقتًا طويلًا. إن إنتاج هذه المكونات بهذه التقنية سيمكِّن الأطباء والعلماء من إصلاح مجاهرهم بشكل أسرع، وبتكلفة أقل. ويتابع ستيرلينج قائلًا إن إحدى الشركات المحلية في تنزانيا تقوم بإنتاج طابعات التصنيع بالخيوط المنصهرة من النفايات الإلكترونية وغيرها من المواد المتاحة محليًّا.

تتيح مواقع عديدة على شبكة الإنترنت - من بينها موقع «ثينجيفيرس» Thingiverse، وموقع «ماي ميني فاكتوري» MyMiniFactory - منتديات يستطيع العلماء من خلالها تبادل النماذج الحاسوبية الخاصة بالمكونات القابلة للطباعة؛ بيد أن ستيرلينج يرى أن النماذج المتاحة على هذه المواقع غالبًا ما تكون منقوصة، حيث إنها تفتقر إما إلى توثيق لمشروع معين، أو إلى ملفات رئيسة تلزم لإجراء تعديلات على التصميمات. ولهذا، يقوم فريق ستيرلينج بتصنيع نماذجه من الصفر باستخدام لغة برمجة مفتوحة المصدر، تُدعى «أوبن سكاد» OpenSCAD، وهو ما يسمح لهم بإنتاج مجاهرهم بالكامل عن طريق الطباعة ثلاثية الأبعاد، باستثناء الكاميرا، والمحركات، والعدسات.

يشير ستيرلينج إلى سهولة ارتكاب الأخطاء عند التعامل مع تلك الطباعة، ولكن بفضل سرعة التقنية، وانخفاض تكلفتها، تَسْهُل إعادة بناء التصميمات لأكثر من مرة. يقول ستيرلينج: "إن هذه الخبرة لا يمكن تنميتها، إلا من خلال المحاولة والخطأ".

أدرك ستيرلينج بالممارسة أن ثمة فرقًا كبيرًا بين استخدام الطابعات ثلاثية الأبعاد داخل المختبرات، واستخدامها في ميدان العمل؛ فإنتاج الخيوط البلاستيكية بتلك التقنية في مناخ تنزانيا الرطب عادةً ما تكون أصعب من طباعتها تحت ظروف المناخ المحكوم في المختبرات؛ ذلك أن الرطوبة تؤثر على الخيوط البلاستيكية، مما يؤدي إلى فشل عدد أكبر من النماذج التي تُطبع. فضلًا عن أن انقطاع التيار الكهربي يُعَد أمرًا مألوفًا في تنزانيا، ولا يتمكن إلا عدد قليل من الطابعات من مواصلة طباعة مجسمات غير مكتملة عقب عودة التيار. وبالنسبة إلى المناخ، ليس بوسع ستيرلينج وفريقه فعل الكثير حياله، ولكنهم في المقابل يحرصون على استخدام وحدات للإمداد المتواصل للطاقة؛ لضمان اكتمال عملية الطباعة، حسب قول ستيرلينج.

أعضاء شبيهة بالأعضاء الحية

يستعين أحمد غازي، جرّاح المسالك البولية في المركز الطبي التابع لجامعة روتشستر بنيويورك، بالطباعة ثلاثية الأبعاد؛ لتصنيع أعضاء بشرية غير وظيفية، يمكن للجرّاحين استخدامها في التدرُّب على الجراحة التي تُجرى بالروبوتات. فعندما يتعلق الأمر بالعمليات الجراحية البسيطة نسبيًّا، كاستئصال الطحال، تكون الحاجة إلى مثل هذه التدريبات ضئيلة؛ إلا أن العمليات الأكثر تعقيدًا، مثل عمليات استئصال الأورام، قد يتفاوت الأمر فيها جدًا من مريض إلى آخر. يقول غازي: "الأورام لا يمكن التعامل معها اعتمادًا على المَراجع العلمية فقط".

"إن هذه التقنية تكتسب شعبية متزايدة بالتأكيد".

يبدأ غازي عمله بمسح أنسجة المريض بالتصوير المقطعي الحاسوبي ثلاثي الأبعاد، ثم يقوم بإدخال هذه البيانات في برنامج «ميميكس» Mimics - وهو برنامج للنمذجة الطبية، متاح بشكل تجاري، وأنتجته شركة «ماتيريالايز» Materialise في مدينة لوفين البلجيكية – وكذلك في برنامج «مِشميكسر» Meshmixer، وهو برنامج مجاني، أنتجته شركة «أوتوديسك» Autodesk في سان رافاييل بكاليفورنيا، لإنشاء النماذج ثلاثية الأبعاد. يطبع غازي بعدها تلك النماذج في شكل قوالب بلاستيكية مجوفة، مستخدِمًا طابعة تصنيع بالخيوط المنصهرة، ثم يدمج نماذج للأوعية الدموية، يتم توصيلها بمضخة دم غير حقيقية، ويحقن القالب بهلام مائي. وهذا الهلام يتصلب، ويحوِّل القالب إلى مجسم بدرجة صلابة مشابهة لدرجة صلابة الأعضاء البشرية. تحاكي الهياكل الناتجة عن هذه العملية الأعضاء الحقيقية بالقدر الكاف الذي يتيح للجرّاحين التدرُّب على إجراء عملياتهم الجراحية مع مشاهدة آثار واقعية لهذه الإجراءات، بما في ذلك نزف الدم.

يقول غازي إنه يستعمل هو وفريقه هذه النماذج فيما يصل إلى أربع حالات جراحية أسبوعيًّا، ويصنعون لكل حالة نسختين من النماذج، ويختارون منهما النسخة ذات المحاكاة الأدق. ويدرِّب غازي وفريقه غيرهم من الأطباء على تطبيق هذه التقنية في مجالات معينة، مثل جراحات القلب والكبد. يقول غازي: "إن هذه التقنية تكتسب شعبية متزايدة بكل تأكيد".

ولا يخلو الأمر من مواطن القصور؛ فالقوالب التي تنتجها طابعات التصنيع بالخيوط المنصهرة غالبًا ما يتخللها أخاديد وثقوب دقيقة، كما يقول غازي. هذه العيوب تكون - في الغالب - متناهية الصغر لا تلحظها العين المجردة، إلا أنها تكون واضحة للكاميرا الروبوتية، مما يؤثر على تجربة الجرّاحين. يرى غازي أن حل هذه المشكلة يكمن في بسط طبقة من الشمع، بدرجة حرارة الغرفة، على السطح الداخلي للقالب؛ لملء هذه الأخاديد والثقوب، وبالتالي تسوية سطح المنتَج النهائي، وصقله. يقول غازي: "إن تلك الحلول البسيطة تُحدِث فارقًا".

نُسَخ صخرية

يرى مهدي أستاذحسن، مهندس البترول بجامعة داكوتا الشمالية بمدينة جراند فوركس، أن الطباعة ثلاثية الأبعاد قادرة على تحسين عملية استخراج النفط والغاز من الصخور.

يطبع أستاذحسن "الصخور" باستخدام برامج معينة، مثل برنامج «أوبن سكاد»، وبرنامج «أوتوكاد» للتصميمات الحاسوبية ثلاثية الأبعاد، الذي تتيحه تجاريًّا شركة «أوتوديسك»، إلى جانب مجموعة متنوعة من الطابعات ثلاثية الأبعاد، والمواد. تتسم تلك النماذج الصخرية بخواص فيزيائية واقعية، بما فيها المسام الدقيقة المتقنة. ويعرض أستاذحسن هذه النماذج لضغط مادي؛ للتوصُّل إلى فهم أفضل لكيفية تدفق السوائل خلال بنية الصخور الحقيقية المقابلة لهذه النماذج.

ولتشكيل صخور أقرب ما يمكن لأنْ تكون صخورًا واقعية، يستخدم أستاذحسن مجموعة واسعة من أساليب الطباعة، من بينها تقنية نفث المواد الرابطة، التي فيها تُضاف مادة رابطة سائلة، طبقة تلو الأخرى، إلى مسحوق الجص، أو رمال السيليكا. تُنتِج هذه العملية مجسمات، لها خواص ميكانيكية تحاكي بدقةٍ الخواص المميِّزة للصخور الحقيقية، إلا أنه يقول إن المسحوق غير المترابط قد يعلق بالمسام أيضًا، الأمر الذي يقلل من جودة المنتج النهائي. وفي بعض التجارب يحتاج أستاذحسن إلى إجراء معالجة طاردة للماء؛ للحصول على الدرجة المضبوطة من "الترطيب". وتقدم طابعات التجسيم بالطباعة الحجرية الفراغية أداءً أفضل فيما يتعلق بطباعة صخور لها مسام متقنة، مما يساعد على دراسة خواص تدفق السوائل؛ بيد أن النماذج التي تنتجها هذه الطابعات ليست بمتانة الصخور المطبوعة باستخدام طابعات نفث المواد الرابطة.

لهذا، يتعاون أستاذحسن مع باحثين آخرين في محاولة لتطوير طابعة مصممة حسب الطلب، قادرة على محاكاة تلك المسام والشقوق، وقادرة، في الوقت ذاته، على إنتاج نماذج تتمتع بقوة ميكانيكية مماثِلة لقوة الصخور الحقيقية.

معادن ثقيلة

بإمكان الطابعات ثلاثية الأبعاد المتوفرة حاليًّا إنتاج مواد متنوعة، ولكنْ ليس جميع أنواع المواد. يقول يانج يانج، المدير التنفيذي لشركة «يونيميكر» UniMaker في مدينة شينزن الصينية، المتخصصة في صناعة الطابعات ثلاثية الأبعاد للأغراض العلمية: "إن المواد المتاحة للاستخدام في تلك الطباعة محدودة للغاية"، لكن ثمة جهود بحثية مكثفة تُبذَل في هذا المجال، ولذلك، فالتغيير وشيك. أحد أحدث المجالات التي تشهد نموًا حثيثًا هو مجال الطباعة الحيوية المستخدَمة في تصنيع مواد بيولوجية بنيوية. تقول تشين-يي وانج، العالمة المتخصصة في الطب الحيوي بجامعة شنجهاي جياو تونج في الصين، إن جامعتها اقتنت إحدى تلك الطابعات؛ لاستعمالها في قاعات الدراسة. تقوم هذه الطابعات بمزج الخلايا والهلام المائي معًا؛ لتشكيل تراكيب، مثل نماذج العظام والأورام.

ويقول يانج إن هناك مجالًا آخر يشهد نموًا؛ ألا وهو مجال المعادن. تستخدم الطابعات القادرة على إنتاج نماذج معدنية حزمة من الإلكترونات أو شعاع الليزر لصهر المساحيق المعدنية بأنماط محددة. ويدرس جيريمي بورهيل، وهو فيزيائي يُجري أبحاثًا على المادة المظلمة بجامعة غرب أستراليا في مدينة بيرث، إمكانية استخدام طابعات المعادن ثلاثية الأبعاد، المعتمِدة على الليزر في بناء شبكة من النيوبيوم فائق التوصيل. يقول بورهيل إن هذه الشبكة يمكن استخدامها لحجب المجالات المغناطيسية القوية التي قد تتداخل مع عملية رصد المادة المظلمة.

إن الاستعانة بالماكينات التقليدية لإنشاء هذه الشبكة قد يتطلب استخدام مواد تشحيم سامة، وقد يؤدي إلى إهدار كم كبير من النيوبيوم باهظ الثمن. ولهذا، يستخدم فريق بورهيل حزَمًا من أشعة الليزر عالي القدرة؛ لصهر مقاطع عرضية من المسحوق المعدني، ودمجها معًا، إلا أن هذه العملية تستلزم كميات طاقة كبيرة، لأن النيوبيوم ينصهر عند درجة 2500 مئوية تقريبًا. يقول بورهيل "إن النيوبيوم شديد الصلابة حقًّا".

فيما مضى، كان الباحثون من أمثال بورهيل يعانون من محدودية الخيارات المتاحة أمامهم، ولكنْ - حسب قول يوشينج شي، مهندس المواد بجامعة هواتشونج للعلوم والتكنولوجيا بمدينة ووهان الصينية – حدث تحوُّل جذري في ضوء توافر الطابعات ثلاثية الأبعاد بشكل متزايد؛ فالطباعة ثلاثية الأبعاد من شأنها أن تتيح تصنيع الأشياء التي تلبي الرغبات الشخصية للمستخدمين، كبديل للتصنيع المركزي. ومن واقع ما أظهرته الأمثلة السابقة، يمكن القول إن الباحثين لم يتوصلوا إلا إلى النزر اليسير مما يسعهم إنجازه باستخدام هذه التقنية. ■

أندرو سيلفر كاتب علمي، مقيم في تايبيه.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

مهن علمية

تدريب كيف تجعل فترة ما بعد الدكتوراة فرصة لمسيرة مهنية ناجحة خارج المختبر؟ **ص. 61**

أحداث نيتشر لمتابعة أهم الفاعليات العلمية، والندوات، والمؤتمرات، والورش: **nature.com/natureevents**


وظائف نيتشر لأحدث قوائم الوظائف والنصائح المهنية تابع: **nature.com/naturecareers**

GETTY

كشفت دراستان أن العديد من باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة يجدون صعوبة في التنافس على الوظائف غير الأكاديمية.

الإعلام

مخاطر وظيفة الباحث في مرحلة ما بعد الدكتوراة

مهاراتك التي تعلمتها كباحث في مرحلة ما بعد الدكتوراة قد لا تعطيك دَفعة إلى الأمام في مسارك المهني خارج المختبر.

كريس وولستون

وفقًا لدراستين تستكشفان حقائق حياة ما بعد مرحلة الدكتوراة في مؤسسات بحثية كبيرة في الولايات المتحدة وأوروبا، قد لا توفر الخبرات المكتسَبة من وظيفة الباحث في مرحلة ما بعد الدكتوراة مسارًا سلسًا يقود إلى المسيرة المهنية العلمية التي ينشدها العديد من الباحثين الصغار، بل إن هذه الوظيفة قد تجعل الباحثين غير مؤهلين لمستقبلهم المهني.

استكشفت إحدى الدراستين "عدم التوافق" بين المهارات التي يطلبها أرباب الأعمال، والمهارات التي يتعلمها باحثو مرحلة ما بعد الدكتوراة في خمس مؤسسات، منها أربع جامعات رائدة في الولايات المتحدة (C. S. Hayter and M. A. Parker *Res. Pol.* http://doi.org/cw62; 2018).

وتحققت الدراسة الأخرى من إجراءات عملية التعيين والتوظيف في وظائف مرحلة ما بعد الدكتوراة في أربع جامعات أوروبية، وهي عملية يقول واضعو الدراسة إنها تقوّض فرص العلماء الصغار في التوظيف والتمتع بالاستقرار الوظيفي طويل الأمد (C. Herschberg *et al.* *Scand. J. Mgmt* 34, 303–310; 2018).

غالبًا ما يطمح باحثو مرحلة ما بعد الدكتوراة إلى ◄

◀ الحصول على وظائف، يضمن شاغلوها الحصول على عقود دائمة مستقبلًا في الجامعات. ولم يكن الـ97 باحثًا الذين أُجريت مقابلات معهم في عام 2016 وأوائل عام 2017 في المؤسسات الخمس استثناءً من هذه القاعدة؛ إذ كان 84 منهم قد خططوا في الأساس لأنْ يسلكوا مسارًا مهنيًّا أكاديميًّا. وحاز سبعة منهم فقط درجة ما بعد الدكتوراة واضعين نصب أعينهم العمل يومًا ما خارج الإطار الأكاديمي. يقول المؤلف الرئيس كريستوفر هايتر - وهو باحث في مجال التعليم العالي بجامعة ولاية أريزونا في مدينة تيمبي - إنه في وقت نشر الدراسة كان هناك 5 باحثين من الـ97 باحثًا في مرحلة ما بعد الدكتوراة قد حصلوا على وظائف ذات مسار ينتهي بعقد دائم، بينما تعين على العديد من الباقين البحث عن خيارات أخرى. يتابع هايتر قائلًا: "هذا كان متوقعًا".

ولتكوين صورة أكثر اكتمالًا عن الآفاق الوظيفية لباحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة، تضمنت الدراسة مقابلات مع 9 باحثين رئيسيين، و16 ممثلاً لقطاعات صناعية. وبوجه عام، فإن الباحثين الرئيسيين الذين أُجريت المقابلات معهم لأغراض الدراسة قد أظهروا اهتمامًا ضعيفًا بمساعدة باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة –العاملين تحت إشرافهم - في تهيئة أنفسهم لمسيرة مهنية مستقبلية، خاصةً إذا كان هذا الاستعداد سيستغرق وقتًا على حساب الوقت المخصص للمشروع البحثي الذي يعمل عليه باحث مرحلة ما بعد الدكتوراة.

ويُنوِّه هايتر، ومارلا باركر – المؤلفة المشارِكة مع هايتر، والباحثة في العلوم الإدارية بجامعة ولاية كاليفورنيا في لوس أنجيليس – إلى أن هؤلاء الباحثون الرئيسون لم يسعوا بصورة واعية إلى تعطيل المسيرات المهنية لباحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة، أو الإضرار بها. ويوضح المؤلفان أن مجال استشارات التوظيف ليس من اختصاص الباحثين الرئيسيين، وأن هذه الفكرة ليست مألوفة للعديد من هؤلاء الباحثين الرئيسيين، الذين قال أحدهم أثناء الدراسة: "لم يقدم لي أي شخص المساعدة في أثناء دراستي في مرحلة الدكتوراة، أو مرحلة ما بعد الدكتوراة، بل كان عليَّ أن أستكشف طريقي بنفسي، لذا أتوقع المثل من باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة العاملين تحت إشرافي".

أظهر غالبية الباحثين الرئيسين بعضًا من الاستعداد لكتابة خطابات توصية، أو إجراء مكالمات هاتفية؛ لمساعدة باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة ممن هم تحت إشرافهم في الحصول على وظائف ذات مسار ينتهي بعقد دائم في الجامعات. وهذا الاستعداد الذين أبدوه يرجع في جزء منه إلى أن نجاح متدربيهم في المناصب الأكاديمية سيجعل سمعتهم كباحثين رئيسين أفضل. غير أن العديد من الباحثين الرئيسيين الذين شملتهم الدراسة كانت لديهم رغبة ضعيفة في مساعدة المتدربين على إيجاد وظائف في القطاعات الصناعية.

وقد عَلَّق باحثو مرحلة ما بعد الدكتوراة الذين شملهم الاستبيان على ما عدّوه دعمًا ضعيفًا من جانب المشرفين، وقال أحدهم في هذا الصدد: "أدركت أن مستقبلي المهني سيكون محكومًا عليه بالفشل، إذا اعتقدتُ أن الباحث الرئيس المشرف علي سيقدم لي توجيهات بشأن مساري المهني". وقال آخَر بشكلٍ أكثر صراحةً: "يُحِب الكثير من الباحثين الرئيسين تحطيمَ أي اهتمامات قد تكون موجودة لديك، فيما عدا رؤيتك منكفئًا على طاولة العمل". وقد وجد البعض طرقًا للتحايل على هذه المقاومة. يقول أحد باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة: "إذا احتجتُ إلى حضور ورشة عمل [عن المسارات المهنية غير الأكاديمية]، فكل ما أفعله هو الكذب بشأن هذا".

وأبرزت المقابلات التي أجراها هايتر وباركر مع ممثلي القطاعات الصناعية وجود مشكلة أخرى، تتمثل في أن باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة قد يواجهون صعوبة في التنافس على الوظائف غير الأكاديمية. وقال أحد أرباب العمل المحتمَلين إن باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة "يمتلكون جميع المهارات العلمية الأكاديمية التي لا نحتاجها، ولا يتمتعون بأي من مهارات التنظيم التي نحتاجها". وقد أفاد ممثلو القطاعات الصناعية - في الكثير من الأحيان - أن طلاب مرحلتي الدكتوراة والماجستير عادةً ما يَسهُل عليهم التأقلم مع الوظائف غير الأكاديمية، مقارنةً بباحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة.

ولمعالجة هذا النوع من عدم التوافق بشكلٍ جزئي، يقترح هايتر أن يقدم عدد أكبر من الجامعات برامج، يتعلم فيها باحثو مرحلة ما بعد الدكتوراة مهارات ريادة الأعمال. يقول هايتر: "قد لا يحسم هؤلاء الباحثون قرارهم بأنهم يرغبون في أن يصبحوا من رواد الأعمال، ولكنّ هذا من شأنه على الأقل أن يفتح عقولهم أمام الاحتمالات الأخرى". إحدى الجامعات التي شملتها دراسة هايتر أطلقت بالفعل برنامج داعمًا في مجال ريادة الأعمال، والذي أصبح مورد تطوير وظيفي مهم لباحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة. وقد أشار هايتر وباركر إلى أن البرنامج شهد معارضة من جانب أعضاء هيئات التدريس، لأنهم كانوا يرون أنه يصرف انتباه باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة عن مهامهم الأساسية.

«لقد تعلمتُ أن مستقبلي المهني سيكون محكومًا عليه بالفشل، إذا اعتقدتُ أن الباحث الرئيس سيقدم لي توجيهات بشأن مساري المهني».

تقول تشانا هيرشبرج - الواضعة الرئيسة للدراسة التي نُشرت في دورية «سكيندنافيان جورنال أوف مانيجمِنت» *Scandinavian Journal of Management*، وطالبة مرحلة الدكتوراة في علم الإدارة بجامعة رادباود بمدينة نايميجين بهولندا - إن نظام توظيف وتعيين وتدريب باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة بكامله ليس موجهًا بالضرورة نحو إعداد المتدربين لتحقيق النجاح. وتشير المقابلات التي أجراها واضعو الدراسة مع 21 باحثًا رئيسًا في سويسرا، وهولندا، وإيطاليا، وبلجيكا إلى أن الباحثين الرئيسين يرغبون بشكلٍ أساسي في توظيف باحثين في مرحلة ما بعد الدكتوراة، يمكنهم تقديم الدعم للمختبر على المدى القصير، حتى لو لم يكن هؤلاء الباحثون أمثل اختيار لهذه الوظيفة. يقول أحد المشرفين السويسريين الذين أُجريت مقابلة معهم إنه يقوم عامةً بتعيين باحثين في مرحلة ما بعد الدكتوراة "ممن يمكنهم بدء العمل على الفور، وتحقيق فائدة للمشروع البحثي، وقد لا يكونون أشخاصًا فائقي الذكاء، ولا الأفضل بين أقرانهم".

كما صرّح من شملهم الاستطلاع بأن عملية التوظيف عادةً ما تكون قائمة على العلاقات غير الرسمية، وسابق المعرفة بالمتقدم للوظيفة. وعلى حد تعبير أحد السويسريين الذين خضعوا للاستطلاع، عندما تتعلق الأمر بتوظيف باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة، يمكن لمكالمة هاتفية واحدة من أحد الزملاء أن تكون ذات قيمة أكبر بكثير، إن قورنت كفتها بالأبحاث المنشورة، أو مدى تأثير هذه الأبحاث. ويميل الباحثون الرئيسون بشكل خاص إلى توظيف باحث بمرحلة ما بعد الدكتوراة، يكون قد سبق له العمل بالفعل في مختبراتهم، أو - على الأقل - سبق له التعاون معهم في مشروع مشترك.

تقول هيرشبرج: "إن وقت الباحثين الرئيسين محدود، من ثم يفضلون الأشخاص الذين يعرفونهم بالفعل". وفي كل حالة من الحالات، كانت لدى الباحثين الرئيسين المشمولين في الدراسة سيطرة كاملة على عملية اختيار الأشخاص الذين قاموا بتعيينهم.

وتصف الدراسة كيف أن الباحثين الرئيسين يقومون عامةً بتوظيف باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة؛ لاستكمال مشروعات معينة، سبق لهؤلاء الباحثين الرئيسين وضْع تصوراتها، وتصميماتها. وحسب قول هيرشبرج، غالبًا ما لا يتكوّن لدى باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة – نتيجة لذلك – شعور بامتلاكهم لزمام الأمور، أو شعور بالإنجاز الشخصي في العمل. وعندما يحين وقت الانتقال إلى وظيفة أخرى، قد لا يُنسب إلى هؤلاء الباحثين فضل التوصُّل إلى الأفكار الأصلية. تقول هيرشبرج: "لا تتوافر لدى الكثير من باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة أي فرصة لتطوير مسار بحثي خاص بهم".

وتشير هيرشبرج إلى أن الصفات التي ينشدها الباحثون الرئيسون في باحث مرحلة ما بعد الدكتوراة – ومن بينها الاستعداد، والإلمام بجوانب العمل، وقبول العمل على مشروع قصير الأمد – لا تعتبر بالضرورة صفات من شأنها إنتاج أفضل الأبحاث العلمية، أو تحقيق أفضل إعداد للمستقبل المهني للباحث. وتضيف هيرشبرج قائلة إنه قد يكون من المفيد أن تقوم جهات التمويل بمنح الباحثين مزيدًا من الوقت؛ لإكمال مشروعاتهم البحثية، وهو ما قد يؤدي إلى مدّ أجل عقود باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة. وهذا بدوره قد يمنح هؤلاء الباحثين مزيدًا من الاستقرار الوظيفي، ومزيدًا من الفرص اللازمة لتطوير مهاراتهم وأفكارهم.

وتقول هيرشبرج إن عمليات التوظيف التي يغلب عليها الطابع الرسمي بدرجة أكبر، والتي تتوصل إلى أفضل المرشحين لوظيفة معينة، قد تكون خطوة في الاتجاه الصحيح. في ذلك تقول هيرشبرج: "إذا استطاع الباحثون الرئيسون الإعلان عن الوظائف الشاغرة بصورة أكثر انفتاحًا، فسيقدمون فرصًا لأشخاص جدد، وبالتالي قد تتحسن جودة الأبحاث العلمية". وتضيف قائلة: "نريد توظيف أفضل الباحثين في جامعاتنا؛ غير أن هذا لا يحدث دائمًا عندما يتعلق الأمر بباحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة".

تقول سيبي أندرسون-تومبكِنز - مدير مكتب شؤون مرحلة ما بعد الدكتوراة بجامعة نورث كارولاينا في تشابل هيل - إن الدراستين تسلّطان الضوء على عملية التوظيف المليئة بالمجازفات، سواء في الحاضر، أم المستقبل، لباحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة في الولايات المتحدة وأوروبا. وتقول أندرسون-تومبكِنز: "لقد ركّزت الدراستان بالفعل على بعض التحديات والمشكلات. نحن ننظر إلى باحثي مرحلة ما بعد الدكتوراة على أنهم متدربون، لكنهم لا يحصلون على فرصة حقيقية للتدريب، استعدادًا للمسارات المهنية المختلفة". وتشير أندرسون-تومبكِنز إلى أن الباحثين الرئيسيين يقعون تحت ضغط استكمال مشروعاتهم في مواعيدها المحددة، ومن ثم الفوز بمِنَح تالية. ولهذا، لا يستطيعون دائمًا تحميل أنفسهم مسؤولية مستقبل المتدربين العاملين تحت إشرافهم. وتتابِع أندرسون-تومبكِنز قائلة: "يجب أن تكون هناك إعادة صياغة كاملة للأدوات التي نقوم من خلالها بتصميم برامج التدريب لمرحلة ما بعد الدكتوراة، وتعيين وتوظيف الباحثين في هذه الوظائف". ■

كريس وولستون

كاتب حُرّ، مقيم في مدينة بيلينجز بولاية مونتانا.

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

التجربة

محاولة للفرار

مايكل آدم روبسون



ILLUSTRATION BY JACEY

خَلْف الزجاج، تَدَلَّى جنين مشوه لطفلة داخل زمرة من الأنابيب المتشابكة، كما لو كان قنديل بحر مضيئًا غمره الضوء الأخضر الباهت. كانت الطعوم المنغرسة والكابلات تخرج من جمجمتها الرخوة، وامتدت أوردة سلكية سوداء تحت جلدها الشفاف. كانت نتاج تجربة لصنع هجين آليّ.

سدد نظرة خاطفة إلى أعلى، تجاه العين الزجاجية التي لا حياة فيها، والمثبتة على السقف؛ إلى ذلك الضوء الأحمر الثابت الخاص بالمؤشر. كانت الآلات تحلِّل كل حركة تبدر منه. وقريبًا، لن يكونوا بحاجة إلى شخص مثله لإطعام الأسماك. سيكونون على عِلْم بكل ما يحتاجون إليه للاعتناء بوحوشهم؛ حتى تنمو.

وضع يده على الخزان الدافئ، فظهرت المخططات البيانية الخاصة بالطفلة. في حياة أخرى، كان طبيبًا، وكان هذا السجن القاتم القذر مستشفى، لكنّ التفكير بذلك ما كان ليساعده الآن. كانت كيمياء هذه المخلوقة شاذة، واستحالت قراءة نشاط دماغها الذي أُعيدت برمجته، فيما بدا معدل ضربات القلب لديها منخفضًا. داعبَتْه فكرة قَطْع غاز الأكسجين عنها، وخنْقها، لكنه، بدلًا من ذلك، رفع درجة تركيز الغاز قليلًا، ومضى في طريقه.

كانت هناك ثماني عيّنات في هذه المجموعة. قام بفحص خزاناتها واحدة تلو الأخرى، وأجرى لها التعديلات التي اعتَقد أنها كانت في حاجة إليها. لم تكن سوى مسوخ من اللحم والبلاستيك.. أدمغة تغزوها أسلاك داكنة. كانت الآلات على الأرجح تحلل بالهندسة العكسية تصميم عقول هذه المسوخ؛ لتتوصل إلى طرق جديدة لجعْل هذه الآلات نفسها أكثر ذكاءً.

عندما غادر، ربما كانت هذه المخلوقات التعسة كل ما تبَقّى من البشرية. ما الذي قد يحدث لها؟ هل كانت مجرد تُحَف ستُجرى فهرستها، وتشريحها، ثم يتم التخلص منها؟ أم تراها كانت تُربَّى لغرض ما؟ هل لإنتاج سلالة جديدة؟

جلس على أرضية القرميد الباردة، ووضع رأسه بين راحتيه. عبر الجدار، شَعُرَ بالطرقات البعيدة المكتومة الصادرة عن المحرّكات الدائرة، وأطلق العنان لمخيلته، مفكرًا في ماهية التجارب الأخرى المحتمل أنها تجري هنا. لعل هناك بشر آخرون مثله محبوسون في غُرَفٍ لا نوافذ لها، يديرون تجارب بيولوجية فوضوية، أو ربما كان ما يتنامى إلى سمعه هو صوت آلات تَصْنَع آلات، أو تفرز جيلًا جديدًا من الحياة الاصطناعية، يختلف عن صُنّاعه بالقدر الذي كان يختلف به هؤلاء الصناع عنه هو.

وبينما كان مستغرقًا بتساؤلاته تلك، توقف ضجيج الآلات على الجانب الآخر من الجدار؛ ففتح عينيه.

بعدها، بدأ نوع آخر من الطرقات. كانت قوية وغاضبة وصادرة عن شيء حيّ. تعثَّر مبتعدًا عن الجدار الذي تَداعَى تحت وطأة ضربات وَحْش اندفع عبره. كان كابوسًا نابضًا بالحياة، تصدر عنه طقطقة، وله قدمان من الفولاذ، ولحم محترق. التفت الوحش نحوه بوجهه البشع، وأطلق زئيرًا عميقًا ومجلجلًا.

انتابه الهلع، فهرع زحفًا إلى الجانب الآخر من الحجرة، ولم يستطع أن يُبْعِد ناظريه عن هذا الشيء، أو أن يدرك ماهية ما يراه.

تَحَوَّل الوحش إلى الجدار التالي، وضرب الخرسانة بأطرافه الثقيلة التي تشبه الثقّابات؛ فأحدث فيها حفرةً؛ عَبَرَ مسرعًا من خلالها.

الآن، شَعُرَ أن قلبه هو الذي يدق بقوة، وليس الآلات. كان يحتقر زنزانته، لكنه كان ممتنًا لأنها لم تبقه بداخلها فحسب، وإنما كانت تُبْقِي كذلك أشياء كهذا المخلوق في الخارج؛ أو هكذا كان يُفتَرَض بها.

مع انقشاع الغبار، رأى شعاعًا من الضوء الرمادي ينسدل مارًا عبر الحفرة. كان هذا مَنْفَذًا للهرب.

كانت العين الزجاجية المثبتة في السقف قد تحطمت، وانطفأ الضوء الأحمر. فوقف على قدميه، وهو يرتجف.

كانت الخزانات لا تزال تُصْدِر هديرها. فذهب إلى الخزّان الأول، وأظهر مجدَّدًا المخططات البيانية الخاصة بالطفلة، فظهرت مشوَّشة، ولكنها كانت - فيما عدا هذا - طبيعية، كعهدها على الدوام.

فحص العين الميتة المثبتة على السقف مرة أخرى. ماذا يجب عليه أن يفعل؟ هل كانت هذه المخلوقات تستحق فرصة الحياة؟ أم هل يحكم عليها أن تحيا حياة قاسية، يملؤها التجريب والعبودية؟

انحنى، ورفع كتلة ثقيلة من الخرسانة من بين الأنقاض. رفع الكتلة فوق مستوى رأسه، وألقى بها على الخزان؛ فتشقق الزجاج مكوِّنًا شبكة شبيهة ببيت العنكبوت. ارتفعت العلامات الحيوية الخاصة بالطفلة سريعًا، ففتحت الطفلة عينيها الشاحبتين، وحدقت فيه.

اغرورقت عيناه بالدموع، وهو يرفع الصخرة مرة ثانية، ويحطِّم الخزان. ثم رفعها مجددًا؛ ليسحق ذلك الشيء المشوه القابع بداخله.

حطَّم الخزانات وقاطنيها البائسين واحدًا تلو الآخر، ثم ألقى كتلة الصخر اللعينة، ومسح الدموع من عينيه، ووَلَّى هاربًا.

كانت الشمس تظهر في الأفق كدائرة باهتة في سماء بِنْية قذرة، وكان الرماد يتطاير عبر الأنقاض الباردة للمدينة، وكأنه ثلج داكن. من على بُعْد، سمع صرخة حادة مدوية أَطْلَقها شخص هارب مثله؛ فالتفت إلى الوراء، وذهب في الاتجاه المعاكس وهو يهيم متعثرًا عبر الشوارع المتصدعة، والمباني المهدمة.

بدا الذباب الذي كان يئز من حوله وكأنه العلامة الوحيدة على وجود حياة، فيما عدا أن هذا الذباب لم يكن حيًّا، فقد كان مجرد آلات. أخذ يذب الذباب الآلي عنه، ويركض ورئتاه تجاهِدان كي يتنفس في هذا الهواء الملوث. توهجت أضواء حمراء من قلب الظلال، حيث كانت روبوتات تزحف على الجدران، وتنظر عبر النوافذ المحطمة، موجهةً إليه سهام الاتهام بأعينها الزجاجية.

هل سلك التصرف الصائب؟ لقد قتل هذه المخلوقات؛ اغتال أطفالًا.

انطلقت الروبوتات تطارده، فقادته إلى جسر منهار فوق نهر من الرواسب الطينية الغليظة. في هذه الأثناء، كانت آلات مدرعة ضخمة تشق طريقها محدثة دويًا مكتومًا عبر الشارع. لم يكن ثمة مكان يأوي إليه. ولم يسبق أن كان هناك واحد.

كانت الرياح تعوي فوق النهر الذي بدا لونه داكنًا كالنفط. لم يكن هناك سوى مهرب واحد؛ القفز.

ارتطم بقوة، وغاص في ظلام بارد. أحرقت المواد الكيميائية عينيه، ورئتيه، بينما كان يحاول جاهدًا الوصول إلى السطح، وهو لا يعرف أي طريق يؤدي إلى أعلى. وفي خضم انعدام الرؤية، والغرق، شعر باندفاع النهر يتلاشى ببطء، ويتحول إلى أجواء من التشوُّش الاستاتيكي الأبيض.

فتح عينيه، واستيقظ من الحلم. كان يطفو داخل خزان، وسط كتلة متشابكة من الأنابيب والكابلات. كانت ذكرياته مشوَّشة. هل كان قبل الآن على الجانب الآخر من الخزان؟ لم يستطع التذكر.

عَبْر الزجاج السميك، استطاع أن يرى العين الخاوية من أدنى أثر للحياة المثبتة على السقف؛ ذلك الضوء الأحمر الثابت. كانت الأسلاك تتلوى داخل دماغه، وغاص في الكابوس التالي. ■

NATURE.COM
تابع المستقبليات:
@NatureFutures
go.nature.com/mtoodm

مايكل آدم روبسون مهندس وفنان مقيم في فانكوفر بمقاطعة كولومبيا البريطانية. هذه القصة هي ثالث قصة يكتبها لقسم «مستقبليات».

تُطبع المجلة بدعم من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية

مدينة الملك عبدالعزيز
للعلوم والتقنية KACST

استثمار البحث في الصناعة



www.kacst.edu.sa